

TA/TL/2025/2028



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Pemanfaatan Koagulan Alami Tongkol Jagung Pada Proses Pengolahan Air

Arkan Fawwaz Hidayat
21513080

Dosen Pembimbing:
Prof. Ir.Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Utilization of Natural Corn Cob Coagulant in Water Treatment Processes

Arkan Fawwaz Hidayat

21513080

Supervisor:

Prof. Ir.Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

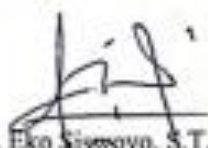
Pemanfaatan Koagulan Alami Tongkol Jagung Pada Proses Pengolahan Air

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

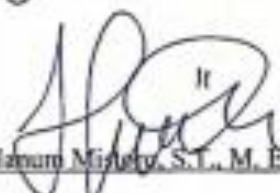
Arkan Fawwaz Hidayat

21513080

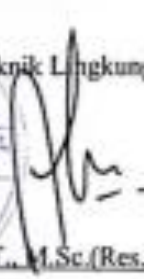
Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 10 September 2025 dan disetujui oleh:

 18/9/2025
Prof. Ir. Eko Siswono, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U. (Pembimbing)

 17/9/2025
Ir. Hudori, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 1)

 16/09/25
Ir. Niesa Hanum Misyery, S.T., M. Eng., I.P.P. (Penguji 2)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



Guyuskinji, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini. Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 10 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Arkan Fawwaz Hidayat
21513080

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji dan syukur panjatkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul “ Pemanfaatan Koagulan Alami Tongkol Jagung Pada Proses Pengolahan Air”. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai bagian dari persyaratan akademik yang harus dipenuhi untuk penyelesaian program studi Sarjana Strata satu (S1). pada Program Pendidikan Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tentunya banyak rintangan serta hambatan yang saya rasakan namun pada akhirnya harus saya hadapi, pada akhirnya saya bisa menyelesaikannya dengan berdoa, berusaha, dan adanya bimbingan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Selanjutnya penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT dengan rahmat, karunia, serta limpahan ilmu pengetahuan, kesehatan, serta kemudahan penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U. selaku dosen pembimbing Tugas akhir yang dimana turut memberikan bimbingan dalam bentuk masukan ataupun saran hingga sampel yang digunakan, metode, dan perhitungan dalam pengujian sampel
3. Keluarga penulis, Papah Sarif Hidayat, S.Ag., Mamah Ayu diyah Kristanti, Kaka penulis Safira Diyah Ayu Hidayat serta seluruh keluarga besar penulis yang telah memberikan doa, semangat dan nasihat kepada penulis pada saat menyusun laporan akhir ini.
4. Teman-teman seperjuangan Muhammad Attar Al-Ghifari, Nur Yafta Hilna, Nida Fitria, Tsabita Dary, yang sama-sama berjuang dalam pengerjaan tugas akhir ini, memberikan bantuan, serta saran dalam melakukan penelitian ini sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Teman-teman penulis Rahadian Muhammad S, Asti Mustika H, Chandra vikarya, Muhammad Randy Septiana, Nabila Nur Fitriani, yang telah memberikan bantuan, memberikan dorongan, motivasi, meluangkan waktu dan penyemangat hingga tugas akhir ini selesai.
6. Seluruh dosen, staf, dan keluarga Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia atas ilmu yang bermanfaat dan pengalaman yang sangat baik karena mempermudah dalam menyusun laporan tugas akhir ini.
7. Seluruh staf Laboratorium Kualitas Lingkungan Mba Nida, Mba Tika, Mba Rina, Mba Shinta, Mba Diah, Pak Iwan, Mas Bagus, Pak Tasyono, yang telah membantu dari peminjaman alat, penggunaan alat, pembuatan sampel, dan pengujian sampel.
8. Dan saya berterimakasih kepada diri saya sendiri selaku penulis Arkan Fawwaz Hidayat, yang telah berjuang dalam menyelesaikan Tugas akhir ini dari tahap awal hingga tahap akhir dan melewati semua halangan dan rintangan sampai menuju titik keberhasilan.
9. Kepada teman-teman Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia Angkatan 2021, Terimakasih atas segala kenangan yang berharga, pengalaman, selama berkuliah disini.

Penyusun menyadari laporan tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun sangat diharapkan untuk perbaikan laporan ini. Semoga laporan ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Sleman, 10 September 2025

Arkan Fawwaz H

Pemanfaatan Koagulan Alami Tongkol Jagung Pada Proses Pengolahan Air

Mahasiswa : Arkan Fawwaz Hidayat
NIM : 21513080
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Prof. Ir.Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Abstrak

Air bersih merupakan kebutuhan esensial bagi kelangsungan hidup manusia. Namun, akses yang memadai terhadap air bersih masih menjadi tantangan bagi sebagian populasi di Indonesia, Akses terhadap air bersih di Indonesia masih menjadi tantangan serius, oleh karena itu dibutuhkan pengolahan salah satunya menggunakan biokoagulan yaitu tongkol jagung sebagai koagulan alami yang dimana mengandung selulosa (41%) ,hemiselulosa (36%), protein (2,8%), dan lignin (6%). Protein yang terkandung dalam tongkol jagung berperan penting dalam mendestabilisasi partikel koloid yang tersuspensi di dalam air. Proses ini kemudian membantu partikel menjadi flok yang pada akhirnya memungkinkan pengendapan secara efektif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi pemanfaatan tongkol jagung sebagai limbah pertanian yang melimpah, untuk koagulan alami dalam proses pengolahan air. Metode yang digunakan jar test untuk pengujian Koagulasi dan flokulasi dengan membandingkan koagulan serbuk tongkol jagung dan tawas. Variasi dosis (75-250 mg/L) , pH (4-9), dan waktu pengendapan (10-30 menit) diaplikasikan pada sampel air Embung. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biokoagulan tongkol jagung memiliki potensi signifikan sebagai alternatif pengganti koagulan kimia dalam pengolahan air bersih.

Kata kunci: *Air bersih, Biokoagulan, Koagulasi dan flokulasi, Kekeruhan, Tongkol jagung, Total Suspended Solid, Waktu Pengendapan*

Utilization of Natural Corn Cob Coagulant in Water Treatment Processes

Student : Arkan Fawwaz Hidayat
Student Number : 21513080
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Prof. Ir.Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., I.P.U.

Abstract

Clean water is an essential need for human survival. However, adequate access to clean water remains a challenge for a portion of the population in Indonesia. Access to clean water in Indonesia remains a serious challenge, therefore treatment is needed, one of which is using biocoagulants such as corn cobs as natural coagulants, which contain cellulose (41%), hemicellulose (36%), protein (2.8%), and lignin (6%). The protein in corn cobs plays a crucial role in destabilizing colloidal particles suspended in water. This process helps the particles form flocs, which ultimately enables effective sedimentation. The objective of this study is to investigate the potential of corn cobs, a abundant agricultural waste, as a natural coagulant in water treatment processes. The jar test method was used to test coagulation and flocculation by comparing corn cob powder coagulant and alum. Variations in dosage (75–250 mg/L), pH (4–9), and settling time (10–30 minutes) were applied to Embung water samples. The results of this study indicate that corn cob bio-coagulant has significant potential as an alternative to chemical coagulants in water treatment.

Keywords: Biocoagulant, Clean Water, Coagulation and flocculation, Corn Cob, Settling time, Turbidity, Total Suspended Solid,

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	10
1.1 Latar Belakang	10
1.2 Perumusan Masalah	13
1.3 Tujuan Penelitian	13
1.4 Manfaat Penelitian	13
1.5 Ruang Lingkup	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Koagulasi dan Flokulasi	15
2.2 Total Suspended Solid (TSS)	18
2.3 Kekeruhan	19
2.4 Tongkol Jagung	20
2.5 Pembuatan Serbuk Tongkol Jagung	21
2.6 Penelitian Terdahulu	22
2.7 Fourier Transform Indrared (FTIR)	30
2.8 Scanning Electron Microscope (SEM)	31
2.9 Jar Test	32
BAB III METODE PENELITIAN	34
3.1 Alur Penelitian	34
3.2 Variabel Penelitian	34
3.3 Waktu dan Lokasi	35
3.4 Alat dan Bahan	36
3.5 Prosedur Pengujian	40
3.6 Analisis Data	48

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Karakterisasi Air Embung	50
4.2 Karakterisasi Biokoagulan	50
4.3 Pengujian aplikasi koagulan	53
4.4 Hubungan Penyisihan TSS dan Kekeruhan	66
4.5 Perbandingan Hasil Biokoagulan dan Koagulan	67
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	76
RIWAYAT HIDUP	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Partikel dan ukuran yang terdapat dalam air	17
Tabel 2. 2 Water Turbidity Levels	19
Tabel 2. 3 Kandungan Nilai Gizi Tongkol Jagung	20
Tabel 2. 4 Referensi Penelitian	23
Tabel 3. 1 Variabel Penelitian.....	35
Tabel 3. 2 Alat Pengujian.....	36
Tabel 3. 3 Bahan Pengujian	39
Tabel 4. 1 Karakteristik Sampel air Embung.....	50
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Dosis Optimum Parameter TSS	54
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian pH Optimum TSS	56
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Waktu Pengendapan Optimum TSS.....	58
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Dosis Optimum kekeruhan	60
Tabel 4. 6 Data Hasil pH Optimum Parameter kekeruhan	62
Tabel 4. 7 Pengujian Waktu Pengendapan Optimum Kekeruhan.....	64
Tabel 4. 8 Kondisi Ideal Koagulan	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian.....	13
Gambar 2. 1 Proses Koagulasi dan Flokulasi	16
Gambar 2. 2 Struktur kimia selulosa dan hemiselulosa	21
Gambar 2. 3 Fourier Transform Infrared (FTIR).	31
Gambar 2. 4 Scanning Electron Microscope (SEM).	32
Gambar 2. 5 Pengujian Jar Test	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3. 2 Lokasi Sampel air permukaan.....	35
Gambar 3. 3 Pengambilan sampel air embung	40
Gambar 3. 4 Persiapan tongkol jagung	41
Gambar 3. 5 Pengujian Kadar awal TSS	43
Gambar 3. 6 Pengujian kekeruhan awal	44
Gambar 3. 7 Pengujian variasi dosis koagulan	45
Gambar 3. 8 Pengujian variasi pH sampel	46
Gambar 3. 9 pengujian variasi waktu pengendapan	47
Gambar 4. 1 hasil analisis FTIR tongkol jagung	51
Gambar 4. 2 hasil <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	52
Gambar 4. 3 Grafik Dosis optimum parameter penyisihan TSS	54
Gambar 4. 4 Grafik pH optimum parameter penyisihan TSS.....	57
Gambar 4. 5 Grafik pengendapan optimum penyisihan TSS	59
Gambar 4. 6 Grafik dosis optimum parameter kekeruhan	60
Gambar 4. 7 Grafik pH optimum penyisihan kekeruhan	63
Gambar 4. 8 Grafik pengendapan optimum penyisihan kekeruhan.....	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Dosis Koagulan	76
Lampiran 2 SNI Pengujian TSS (SNI 6989.3:2019)	77
Lampiran 3 SNI Koagulasi Flokulasi (SNI 19-6449-2000).....	80
Lampiran 4 Hasil Uji FTIR.....	81
Lampiran 5 Hasil Uji SEM	82
Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian.....	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih adalah suatu kebutuhan esensial bagi keberlangsungan hidup manusia yang tidak dapat diabaikan. Meskipun demikian, masih terdapat sejumlah penduduk di Indonesia yang belum memperoleh akses yang memadai terhadap air bersih. Terdapat juga penurunan signifikan dalam kualitas air baku yang menjadi sumber utama untuk diproses menjadi air bersih. Oleh karena itu, diperlukan sebuah terobosan atau perkembangan baru dalam teknologi, proses, dan bahan tambahan yang digunakan dalam proses pengolahan air bersih. Kekeruhan air bersih yang tinggi sering kali menjadi indikator adanya komponen penyebab penyakit yang dapat membahayakan kesehatan manusia (Prihantinningtyas, 2013).

Pencemaran air bersih merupakan pelepasan zat ke dalam air dari berbagai sumber (air tanah, permukaan, mata air, danau, sungai, laut, dan sebagainya) hingga melampaui batas aman dan mengganggu manfaat air maupun fungsi alami ekosistem air. Pencemaran air dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti limbah industri, limbah rumah tangga, limbah pertanian, dan lain-lain. Dampak dari pencemaran air dapat sangat luas dan berbahaya, seperti mengganggu kesehatan manusia, mengancam sumber-sumber air minum, dan merusak estetika lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk menjaga kebersihan air dan melakukan upaya untuk mencegah pencemaran air demi kesehatan kita dan lingkungan. Adapun beberapa zat kimia yang bisa mencemari air diantaranya adalah zat fosfat yang berasal dari detergen yang digunakan untuk mencuci baju, kebocoran bahan bakar minyak dari kapal atau tangki yang tumpah, logam berat hasil buangan dari pabrik, limbah organik dari sampah rumah tangga dan juga kotoran hewan (Yohanes *et al*, 2019).

Salah satu pengolahan yang digunakan dalam proses pengolahan air adalah metode koagulasi. Metode ini melibatkan penggunaan bahan kimia tertentu yang bertujuan untuk menggumpalkan partikel-partikel kecil yang

terlarut atau tersuspensi dalam air menjadi gumpalan yang lebih besar, yang kemudian dapat dengan mudah dipisahkan dari air. Langkah ini penting dalam menghilangkan kotoran-kotoran dan zat-zat berbahaya dari air limbah sebelum diproses lebih lanjut (Fitria, 2024).

Salah satu komponen tambahan yang disertakan dalam proses pengolahan air bersih adalah koagulan, yang merupakan substansi kimia yang dimasukkan ke dalam air untuk mengendapkan partikel-partikel koloid yang sulit dihilangkan dari air. Penggunaan koagulan dalam proses koagulasi bertujuan untuk destabilisasi muatan dengan menekan atau menghilangkan lapisan- lapisan diffused layer, sehingga yang tersisa adalah gaya tarik antar partikel (Prihantinningtyas, 2013).

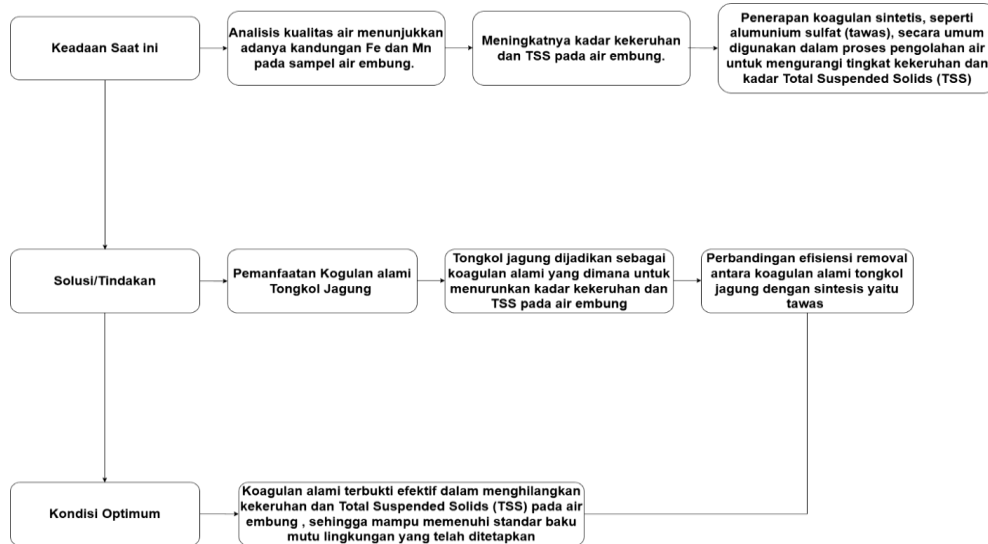
Koagulan alami merupakan zat atau bahan alami yang dimanfaatkan untuk memfasilitasi proses pengendapan partikel-partikel halus atau zat-zat terlarut dalam medium air, baik itu dalam konteks pengolahan air minum, pengelolaan air limbah, atau penanganan limbah industri. Koagulan alami yang akan digunakan dalam pengolahan air yaitu tongkol jagung. Diprediksikan jumlah produksi jagung akan semakin tinggi dibandingkan dengan jumlah konsumsinya. Akan tetapi, pemanfaatan jagung saat ini masih didominasi oleh konsumsi langsung (Efendi, 2015).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Penelitian oleh (Rohim .*et al* , 2024). Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai Koagulan Alami untuk Pengolahan Air Gambut dan parameter yang diuji yaitu pH. Namun Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan koagulan alami dari biji dan daun kelor pada pengolahan air gambut belum menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam meningkatkan nilai pH. Meskipun koagulan ini mampu mengikat warna pada air gambut, namun kemampuannya dalam menetralkan keasaman air gambut masih terbatas. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa koagulan alami dari tanaman kelor, meskipun efektif dalam mengurangi warna pada air gambut, namun kurang optimal dalam menaikkan nilai pH. Maka dari itu, penggunaan koagulan ini secara tunggal belum cukup untuk menghasilkan air gambut yang memenuhi syarat sebagai air bersih.

Lalu dilakukan penelitian lanjutan mengevaluasi potensi cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai koagulan alami dalam mengurangi *total suspended solids* (TSS) dan kekeruhan air sumur. Cangkang kerang darah digunakan dalam dua bentuk, yaitu bubuk tidak dimodifikasi (BCSP) dan kitosan hasil ekstraksi (BCSC). Uji karakteristik media dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). Proses koagulasi diuji melalui metode *jar-test* dengan variasi dosis koagulan, pH, dan waktu pengendapan untuk menentukan kondisi optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BCSP optimal pada dosis 75 mg/L dengan pH 4, menghasilkan pengurangan TSS dan kekeruhan masing-masing sebesar 76%. Sedangkan BCSC memiliki kinerja optimal pada dosis 200 mg/L dengan pH 5, mengurangi TSS sebesar 80% dan kekeruhan sebesar 81%. Sebagai pembanding, koagulan kimia tawas mampu mencapai efisiensi yang lebih tinggi, yakni 95% untuk TSS dan 97% untuk kekeruhan pada dosis 200 mg/L dengan pH 6. Karakterisasi FTIR menunjukkan keberadaan kelompok fungsional utama seperti amina dan hidroksil dalam kitosan yang berkontribusi pada kemampuan koagulasi. Hasil SEM menunjukkan bahwa BCSC memiliki struktur yang lebih seragam dan pori-pori lebih besar dibandingkan BCSP, meningkatkan efisiensi adsorpsi. Namun, kinerja BCSP menurun pada dosis tinggi, sementara BCSC menunjukkan efisiensi yang lebih stabil pada dosis lebih besar. Secara keseluruhan, meskipun alum memiliki kinerja superior, koagulan berbasis cangkang kerang darah memberikan alternatif ramah lingkungan yang menjanjikan untuk pengolahan air, dengan efisiensi yang kompetitif dan risiko lingkungan yang lebih rendah (Siswoyo dkk., 2024).

Maka dari itu pada penelitian saat ini yaitu pemanfaatan koagulan alami dari tongkol jagung pada proses pengolahan air bertujuan untuk mengolah air sungai dengan parameter Uji TSS (*Total Suspended Solid*) dan kekeruhan meliputi variasi dosis koagulan, variasi pH sampel air dan variasi waktu pengendapan untuk mendapatkan kondisi optimum dalam mengurangi kadar TSS dan kekeruhan.

Kerangka berpikir dalam melakukan penelitian pemanfaatan Tongkol Jagung dalam menurunkan kadar kekeruhan dan TSS dapat dilihat pada **Gambar 1.1**



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian

1.2 Perumusan Masalah

1. Seberapa efektif tongkol jagung sebagai koagulan alami dalam menghilangkan kontaminan dan partikel dalam proses pembersihan air?
2. Bagaimana mekanisme kerja koagulan alami dari tongkol jagung dalam proses pengendapan dan penghilangan kontaminan dalam air?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menentukan efektivitas tongkol jagung sebagai koagulan dalam menghilangkan kontaminan dan partikel yang terdapat dalam air.
2. Untuk memahami mekanisme kerja koagulan alami dari tongkol jagung serta mengevaluasi keberlanjutan dan efisiensi penggunaannya dalam proses pembersihan air.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Peningkatan pemahaman tentang potensi dan efektivitas penggunaan

- koagulan alami dari tongkol jagung dalam proses pembersihan air.
2. Pengembangan metode pembersihan air yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

1.5 Ruang Lingkup

1. Lokasi Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia
2. Penelitian sebatas pengujian laboratorium menggunakan *jar test* dan dilakukan pada suhu kamar.
3. Penelitian ini menggunakan 2 macam koagulan yaitu :
 - a) Koagulan alami Tongkol jagung
 - b) Koagulan Sintetis berupa tawas
4. Variabel lain yang diamati pada penelitian ini yaitu :
 - a. Kecepatan Pengadukan: Pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat 60 rpm selama 10 menit
 - b. Variasi dosis (mg/L) ketiga koagulan untuk menentukan dosis optimum adalah, 75, 100, 150, 200 dan 250 (mg/L)
 - c. Variasi Ph sampel air untuk menentukan pH optimum adalah 4,5,6,8 dan 9
 - d. Variasi waktu pengendapan untuk menentukan pengendapan optimum adalah 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit.
5. Air sampel yang digunakan adalah air permukaan yang didapatkan dari Embung Universitas Islam Indonesia
6. Metode yang digunakan dalam pengujian TSS dan kekeruhan yaitu, untuk kekeruhan berdasarkan SNI 06-6989.25-2005 secara Nefelometri sedangkan untuk TSS berdasarkan SNI 6989.3:2019 secara Gravimetri.

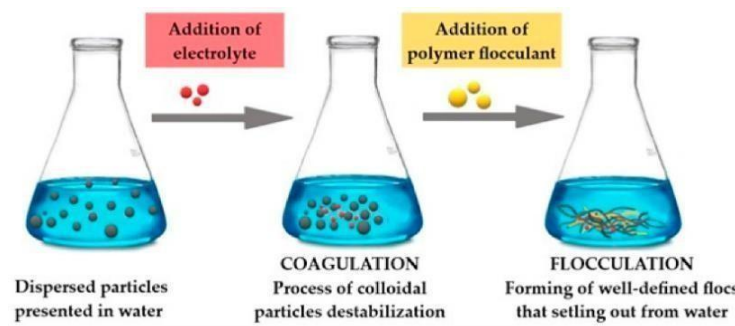
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi merupakan suatu metode pengolahan air yang melibatkan pemberian koagulan, yakni bahan kimia tertentu, ke dalam air baku atau air yang sedang diuji dengan menggunakan kecepatan pengadukan yang tinggi dalam waktu yang singkat. Selama proses koagulasi, pencampuran antara air baku dan koagulan menghasilkan pembentukan struktur flok. Formasi flok terjadi sebagai akibat dari pengadukan yang cepat, mengakibatkan destabilisasi koloid dalam air tersebut. Dampak dari destabilisasi ini adalah terurainya koloid menjadi partikel-partikel yang memiliki muatan positif dan negatif. Oleh karena itu, tujuan utama dari proses koagulasi adalah untuk memfasilitasi pengendapan partikel-partikel koloid yang awalnya memiliki ukuran kecil dan ringan, sehingga membentuk flok yang lebih besar dan lebih berat (Susanto, 2008).

Sedangkan Flokulasi adalah suatu tahap dalam penyisihan air dimana partikel- partikel yang telah terdestabilisasi selama proses koagulasi diaglomerasikan menjadi struktur-struktur yang lebih besar yang disebut flok, melalui interaksi dengan flokulan. Proses ini bertujuan untuk memfasilitasi pengendapan dengan memperlambat kecepatan pengadukan. Pengadukan yang dilakukan secara perlahan-lahan memegang peranan penting dalam keberhasilan proses flokulasi karena memungkinkan partikel- partikel untuk bergabung dan membentuk flok. Selain itu, gaya-gaya antarmolekul juga memainkan peran signifikan dalam menentukan laju pembentukan flok selama proses flokulasi (Risdianto, 2007). Berikut merupakan Proses Koagulasi dan Flokulasi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Proses Koagulasi dan Flokulasi

Sumber: Macczak et al.,(2020).

Pada Proses Koagulasi dan Flokulasi terdapat beberapa faktor yang tentunya dapat mempengaruhi efektivitas proses koagulasi dan flokulasi oleh karena itu perlu diperhatikan agar selalu pada kondisi optimum, diantaranya:

1) pH

Proses koagulasi akan berlangsung secara optimal apabila pH sesuai dengan nilai pH optimum koagulan.

2) Temperatur/Suhu

Efektivitas proses koagulasi menurun pada temperatur rendah akibat peningkatan viskositas air. Kondisi ini menghambat aglomerasi partikel sehingga menghasilkan flok berukuran lebih kecil dan sulit mengendap.

3) Dosis Koagulan

Penentuan dosis koagulan yang tepat bersifat krusial untuk efektivitas proses. Dosis yang tidak mencukupi akan menghambat pembentukan flok sehingga partikel sulit mengalami sedimentasi. Sebaliknya, dapat menyebabkan destabilisasi partikel dan peningkatan kekeruhan kembali karena proses flokulasi tidak berlangsung optimal.

4) Pengadukan

Kecepatan pengadukan merupakan parameter kritis dalam proses koagulasi. Kecepatan yang tidak memadai akan memperlambat laju pembentukan flok, sementara kecepatan yang eksekif dapat menyebabkan kerusakan atau pecahnya flok yang telah terbentuk akibat tegangan geser (*shear stress*) yang tinggi (Susanto, 2008).

2.1.2 Koloid

Tanah, bakteri, pasir, virus, material organik dan anorganik merupakan padatan yang tersuspensi yang terkadang ada di dalam air. Partikel tersebut dapat menjadi masalah saat air diolah. Partikel memiliki ukuran yang bervariasi. Namun ukuran partikel lebih besar dari 11 μm maka biasanya dalam kondisi air yang tenang partikel tersebut akan mengendap lebih cepat dengan sendirinya. Namun, ketika ukuran partikel lebih kecil maka pengendapan akan terjadi secara lambat. Koloid adalah partikel yang menyusun suspensi yang dapat mengendap (Qasim, 2000). Berikut Tabel 2.1 merupakan jenis partikel dan ukuran partikel yang terdapat di dalam air :

Tabel 2. 1 Jenis Partikel dan ukuran yang terdapat dalam air

Material	Diameter Partikel (μm)
Virus	0,005 – 0,01
Bakteri	0,3 – 3,0
Koloid berukuran kecil	0,001 – 0,1
Koloid berukuran besar	0,1 – 1
Tanah	1 – 100
Pasir	500
Partikel flok	100 – 2000

Sumber: Qasim (2000).

2.1.3 Koagulan

Menurut (Prihatinningtyas, 2013) Koagulan dibedakan menjadi dua yaitu koagulan sintesis dan koagulan alami, koagulan sintesis merupakan koagulan yang dibuat dari bahan kimia seperti yang dibuat dari bahan kimia seperti *aluminum sulphate* (alum), *aluminum chloride*, *sodium aluminate*, *ferric sulphate*, dan lain-lain. Alum atau tawas merupakan koagulan sintetis yang paling sering digunakan dalam proses pengolahan air. Tawas menghasilkan *sludge* yang sangat banyak dan juga sulit terurai secara alami sehingga meningkatkan biaya pengolahan (Prihatinningtyas, 2013).

Sedangkan koagulan alami merupakan koagulan yang terbuat dari bahan alami yang banyak tersedia di alam seperti dengan memanfaatkan ekstrak mikroorganisme, hewan atau tumbuhan. Tumbuhan banyak dimanfaatkan sebagai koagulan alami karena mengandung protein yang cukup banyak. Protein inilah yang dibutuhkan untuk dijadikan sebagai koagulan karena terdiri dari unsur- unsur C, H, O, N, S dan P.

Koagulan alami digunakan untuk mengurangi penggunaan koagulan sintetis yang memiliki beberapa dampak negatif terhadap lingkungan, ekonomi dan kesehatan manusia. Koagulan alami diketahui memiliki beberapa keuntungan seperti *sludge* yang dihasilkan dapat terurai secara alami, bersifat *biodegradable*, relatif murah dan banyak tersedia di mana saja sehingga diharapkan dapat menggantikan ketergantungan terhadap koagulan sintetis atau setidaknya memiliki efektivitas yang sama dalam mengolah sumber air baku.

2.2 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan parameter kualitas air yang mengukur jumlah total partikel padat yang tersuspensi dalam suatu cairan, termasuk limbah cair. Partikel-partikel ini dapat berupa bahan organik seperti serat tanaman, mikroorganisme, atau bahan anorganik seperti tanah liat. Kandungan TSS yang tinggi dalam limbah cair dapat mengindikasikan tingkat pencemaran yang signifikan, karena partikel-partikel tersebut dapat menghambat penetrasi cahaya, mengonsumsi oksigen terlarut, serta membawa polutan lainnya. Analisis komposisi kimia TSS dapat memberikan informasi lebih lanjut mengenai jenis dan sifat partikel yang ada, sehingga memungkinkan dilakukannya upaya pengendalian yang lebih efektif (Hermansyah, 2024).

Metode Gravimetri digunakan untuk menghitung nilai TSS dengan cara menimbang berat hasil dari reaksi pengendapan. Agar Metode Gravimetri dapat berhasil maka saat melakukan proses pemisahan harus terjadi secara sempurna. Hal ini bertujuan agar partikel yang ditimbang memiliki kualitas yang mendekati murni bahkan murni. Dengan menggunakan Metode

Gravimetri maka baku mutu air yang digunakan yaitu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 dengan nilai maksimal TSS pada air sebesar 50 mg/L (Eddiwan, 2018).

2.3 Kekeruhan

Kekeruhan adalah suatu ukuran biasan cahaya di dalam air yang disebabkan oleh adanya partikel koloid dan suspensi yang terkandung dalam air. Dan disebabkan oleh lumpur, partikel tanah, potongan tanaman atau fitoplankton. Tingkat kekeruhan yang tertinggi terdapat pada daerah Kali Galeh sebesar 22,33 karena perairan ini merupakan aliran air dari sungai Banyu Biru dan Jambu yang kemungkinan membawa bahan- bahan pencemar seperti lumpur, tanah, dan limbah rumah tangga yang terbawa oleh aliran sungai. kekeruhan pada air memang disebabkan adanya zat-zat tersuspensi yang ada dalam air tersebut. Sedangkan yang terendah terdapat pada Bukit Cinta yaitu sebesar 7 karena yang mempengaruhi kekeruhan hanya dari limbah rumah tangga yang berada di sekitarnya. Limbah rumah tangga ini berupa sisa makanan yang dapat dikonsumsi oleh organisme air lain (Arrasians, 2004).

Kekeruhan air akan diukur dengan metode Nefelometri, Dalam metode ini, sumber cahaya dilewatkan melalui sampel dan intensitas cahaya yang dipantulkan menyebabkan kekeruhan, lalu diukur dengan menggunakan formazin larutan standar. NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) adalah satuan untuk mengukur kekeruhan. Padatan yang terbentuk sebanding dengan nilai kekeruhan. Semakin banyak jumlah padatan tersuspensi maka semakin tinggi nilai kekeruhan berikut merupakan tabel variasi kekeruhan tiap Level sebagaimana terlihat pada **Tabel 2.2**.

Turbidity level	TSM (NTU)
Fairly turbid	15 – 25
Rather turbid	25 – 35
Turbid	35 – 50
Very turbid	> 50

Tabel 2. 2 Water Turbidity Levels

Sumber; Azis et al., (2015).

2.4 Tongkol Jagung

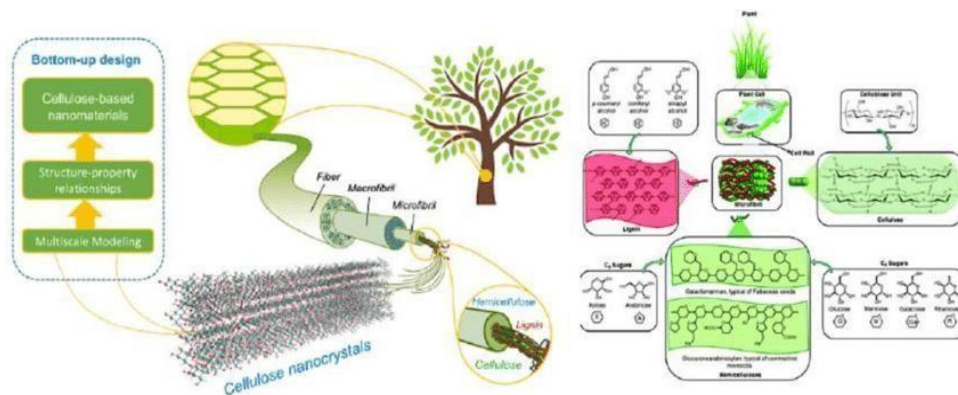
Limbah pertanian seperti tongkol jagung memiliki potensi yang signifikan sebagai koagulan alami dalam proses pengolahan air. Dengan kemampuannya mengaglomerasi partikel koloid, koagulan alami ini menawarkan alternatif ramah lingkungan yang efektif dalam meningkatkan kualitas air dibandingkan dengan koagulan sintetis, Menurut (Murti, 2008). Tongkol jagung memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi karbon aktif, suatu kemampuan yang didasari oleh kandungan karbonnya yang substansial. Kandungan karbon ini secara dominan berasal dari komponen polisakarida utamanya, yaitu selulosa (41%) dan hemiselulosa (36%). Berikut Merupakan **Tabel 2.3** kandungan nilai gizi tongkol jagung.

Tabel 2. 3 Kandungan Nilai Gizi Tongkol Jagung

Komponen Zat	Persentase
Bahan Kering	90
Lemak	0,7
Serat Kasar	32,7
Protein Kasar	2,8
BETN	33,36
Abu	1,5
Lignin	6
ADF	32

Sumber; Murti et al., (2008)

Menurut (Gunawan, 2020). Kandungan utama dalam tongkol jagung yang berperan sebagai koagulan adalah Lignin, polisakarida, terutama selulosa dan hemiselulosa. Senyawa-senyawa ini memiliki gugus fungsi hidroksil (-OH) yang bersifat polar. Polaritas inilah yang memungkinkan polisakarida berinteraksi dengan partikel-partikel koloid yang bermuatan dalam air (Prihatinningtyas, E., & Effendi, A. J. 2013). Berikut merupakan Struktur kimia selulosa dan hemiselulosa terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Struktur kimia selulosa dan hemiselulosa

Sumber : researchgate.net

Produksi jagung Indonesia yang mencapai 14,46 juta ton pada tahun 2023 (Berdasarkan Analisis Perdagangan Jagung tahun 2024). Menghasilkan potensi limbah jagung yang cukup besar. Jika tidak dikelola secara optimal, limbah jagung dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap degradasi lingkungan. Proses pembusukan limbah jagung dapat melepaskan gas rumah kaca dan senyawa polutan lainnya, sehingga memperparah masalah perubahan iklim dan kualitas udara. Selain itu, pencucian limbah jagung ke perairan dapat menyebabkan perairan kelebihan nutrisi seperti fosfor dan nitrogen, hal ini dapat mengancam keberlangsungan ekosistem perairan.

Tongkol jagung, yang sering kali dianggap sebagai limbah pertanian, ternyata memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai koagulan alami dalam pengolahan air. Kandungan yang membuat Tongkol jagung bisa menjadi koagulan alami adalah selulosa, hemiselulosa, lignin, dan protein (Yanti, 2024).

2.5 Pembuatan Serbuk Tongkol Jagung

Pemilihan dan Pengeringan. mengeringkan hingga kadar airnya rendah untuk memudahkan proses penggilingan. Kemudian Giling tongkol jagung menjadi serbuk halus. Ukuran partikel yang halus akan memperluas

permukaan kontak antara sampel dengan pelarut, sehingga meningkatkan efisiensi ekstraksi.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang berkaitan dengan koagulan alami dalam menurunkan TSS dan kekeruhan. Penelitian terdahulu juga digunakan sebagai referensi dalam melakukan penelitian ini. Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan koagulan alami dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Referensi Penelitian

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Rahmalina Nur Zahra (2021)	Pemanfaatan Cangkang Kerang Darah (<i>Anadara Granosa</i>) sebagai Koagulan Alami dalam Menurunkan Kadar TSS dan Kekeruhan	<p>- Dalam upaya menurunkan konsentrasi Total Suspended Solid (TSS), aplikasi koagulan kitosan menunjukkan efektivitas optimal pada dosis 200 mg/L, dengan kondisi pH yang ideal pada 5, dan waktu pengendapan yang diperlukan selama 30 menit. Pada kondisi tersebut, terjadi reduksi konsentrasi TSS dari nilai awal 198,4 mg/L menjadi 40 mg/L.dengan konsentrasi TSS awal 198,4 mg/l menjadi 40 mg/l.</p> <p>- Koagulan serbuk Cangkang kerang darah, pada dosis optimal 75 mg/L dan pH 4, mampu menurunkan konsentrasi TSS dari 118,8 mg/L menjadi 20 mg/L dalam waktu pengendapan 30 menit. Dan Tawas, pada</p>

		<p>dosis optimal 200 mg/L dan pH 6, menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dengan menurunkan konsentrasi TSS dari 115,6 mg/L menjadi 6 mg/L dalam waktu pengendapan 15 menit.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dalam konteks penurunan parameter kekeruhan, koagulan kitosan menunjukkan efektivitas optimal pada kondisi operasional yang identik dengan penurunan Total Suspended Solid (TSS). Pada dosis 200 mg/L, pH 5, dan waktu pengendapan 30 menit, terjadi reduksi signifikan dari nilai kekeruhan awal 23,73 NTU menjadi 4,45 NTU. - Serbuk cangkang kerang darah, sebagai koagulan, menunjukkan efektivitas optimal dalam menurunkan kekeruhan pada kondisi operasional yang identik dengan penurunan Total Suspended Solid (TSS). Pada dosis 75 mg/L, pH 4, dan waktu pengendapan 30 menit, terjadi reduksi nilai kekeruhan dari 30,2 NTU menjadi 8,02 NTU. - Koagulan tawas dosis, pH dan waktu pengendapan optimum yang sama dengan parameter TSS mampu menurunkan 16,24 NTU menjadi 0,46 NTU.
--	--	--

Eka Prihatinni ngtyas (2013)	Aplikasi Koagulan Alami Dari Tepung Jagung Dalam Pengolahan Air Bersih	<p>- Penelitian ini membandingkan efektivitas koagulan jagung ionik dan ekstrak jagung dalam pengolahan air. Jagung ionik menunjukkan kinerja koagulasi yang lebih baik, dengan efisiensi penurunan kekeruhan meningkat seiring dengan peningkatan dosis koagulan dan kekeruhan awal. Proses koagulasi optimal terjadi pada pH 5, yang mendekati titik isoelektrik.</p> <p>Perbandingan dengan alum menunjukkan efisiensi yang sebanding pada <i>over flowrate</i> rendah ($< 0,03$ m/menit), namun alum lebih efektif pada <i>over flowrate</i> tinggi. Analisis SEM-EDX mengonfirmasi perubahan morfologi dan komposisi flok, dengan terperangkapnya partikel koloid yang didominasi oleh silika dan aluminium.</p>
---------------------------------	---	---

Risnawati (2024)	Pemanfaatan Ekstrak Biji Alpukat (<i>Persea Americana</i> Mill) Sebagai Biokoagulan Pada Pengolahan Air Limbah Industri Tahu	<p>- potensi pemanfaatan ekstrak biji alpukat (<i>Persea Americana</i> Mill) sebagai biokoagulan untuk pengolahan limbah cair industri tahu yang kaya bahan organik dieksplorasi. Melalui ekstraksi tanin dan aplikasi dalam uji <i>jar test</i>, ditunjukkan bahwa biji alpukat efektif dalam menurunkan kadar Total Suspended Solid (TSS), Total Dissolved Solid (TDS), kekeruhan, dan Chemical Oxygen Demand (COD).</p> <p>Kondisi operasional optimal bervariasi, dengan kecepatan pengadukan antara 100-190 rpm, waktu pengadukan 3-4 menit, dan rasio biji alpukat terhadap limbah 3:300 hingga 6:300. Penelitian ini menyimpulkan bahwa biji alpukat merupakan biokoagulan alami yang menjanjikan dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah industri tahu.</p>
---------------------	---	--

Octavianka (2023)	Perbandingan Kemampuan Poly Aluminum Chloride (PAC) dan Biokoagulan dari tepung jagung pada instalasi pengolahan air bersih di PT.Semen Indonesia	Penelitian ini membandingkan efektivitas Poly Aluminum Chloride (PAC) dengan biokoagulan dari tepung jagung dalam pengolahan air di PT. Semen Indonesia. Tepung jagung diekstraksi dengan NaCl 1 M untuk mendapatkan biokoagulan. Efektivitas koagulan diuji menggunakan metode jar test dengan memvariasikan jenis dan dosis koagulan, serta mengukur pH, kekeruhan, dan warna air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tepung jagung berpotensi sebagai bahan koagulan, namun tidak lebih efektif atau efisien dibandingkan PAC.
----------------------	--	--

		<p>- Penelitian ini membandingkan efektivitas Poly Aluminum Chloride (PAC) dengan biokoagulan dari tepung jagung dalam pengolahan air di PT. Semen Indonesia. Tepung jagung diekstraksi dengan NaCl 1 M untuk mendapatkan biokoagulan. Efektivitas koagulan diuji menggunakan metode jar test dengan memvariasikan jenis dan dosis koagulan, serta mengukur pH, kekeruhan, dan warna air.</p> <p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa tepung jagung berpotensi sebagai bahan koagulan, namun tidak lebih efektif atau efisien dibandingkan PAC.</p>
--	--	---

Risdayanti (2024)	Pengaruh Variasi Koagulan Kulit jeruk untuk menurunkan Total Suspended Solid (TSS) pada limbah air tahu	<ul style="list-style-type: none"> - potensi kulit jeruk sebagai koagulan alami untuk menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dalam air limbah tahu. Variasi jenis kulit jeruk (nipis, purut, dan sunkist) diuji efektifitasnya. Kulit jeruk dikeringkan, dihaluskan, dan serbuknya digunakan sebagai koagulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koagulan kulit jeruk sunkist memberikan penurunan TSS terbaik. - Hasil Penelitian Kulit jeruk berpotensi sebagai koagulan alami karena mengandung senyawa bioaktif seperti pektin, limonen, flavonoid, dan asam askorbat. - Dari ketiga variasi, kulit jeruk sunkist dengan dosis koagulan 2 g menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menurunkan kadar TSS, yaitu sebesar 26,96%.
----------------------	---	---

2.7 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pektroskopi Transformasi Fourier Inframerah (FTIR) adalah teknik analitik yang memanfaatkan interaksi antara radiasi inframerah dan molekul untuk mengidentifikasi komponen senyawa. Prinsip dasar metode ini melibatkan eksitasi vibrasi dan rotasi molekul ketika terpapar radiasi inframerah, menghasilkan spektrum serapan yang unik. Spektrum FTIR, yang divisualisasikan sebagai plot intensitas radiasi yang ditransmisikan terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}), memberikan informasi tentang gugus fungsi dan ikatan kimia dalam sampel. Data ini diperoleh melalui pengukuran intensitas radiasi inframerah yang melewati sampel dan perbandingan dengan intensitas radiasi referensi. Dengan demikian, FTIR memungkinkan karakterisasi kualitatif dan kuantitatif dari berbagai jenis material (Faturachman, 2025).

Spektroskopi inframerah (IR) mengkaji interaksi antara radiasi elektromagnetik dan materi, khususnya dalam rentang frekuensi $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$. Satuan cm^{-1} , yang dikenal sebagai bilangan gelombang (wavenumber), menunjukkan frekuensi vibrasi molekuler. Prinsip dasar spektroskopi IR adalah analisis respons molekul terhadap radiasi inframerah. Ketika radiasi IR mengenai sampel, molekul-molekul, terutama yang memiliki momen dipol, mengalami eksitasi vibrasi dan rotasi. Spektrum yang dihasilkan, yang menunjukkan serapan radiasi pada frekuensi tertentu, mengidentifikasi gugus fungsi dan struktur molekul dalam sampel. Bilangan gelombang (cm^{-1}), yang berbanding terbalik dengan panjang gelombang, mencerminkan energi radiasi. Spektrum IR merekam intensitas serapan radiasi IR sebagai fungsi dari bilangan gelombang, memberikan "sidik jari" unik dari senyawa yang dianalisis (Sjahfirdi. dkk, 2015). Berikut merupakan **Gambar 2.3** instrumen Fourier Transform Infrared (FTIR).

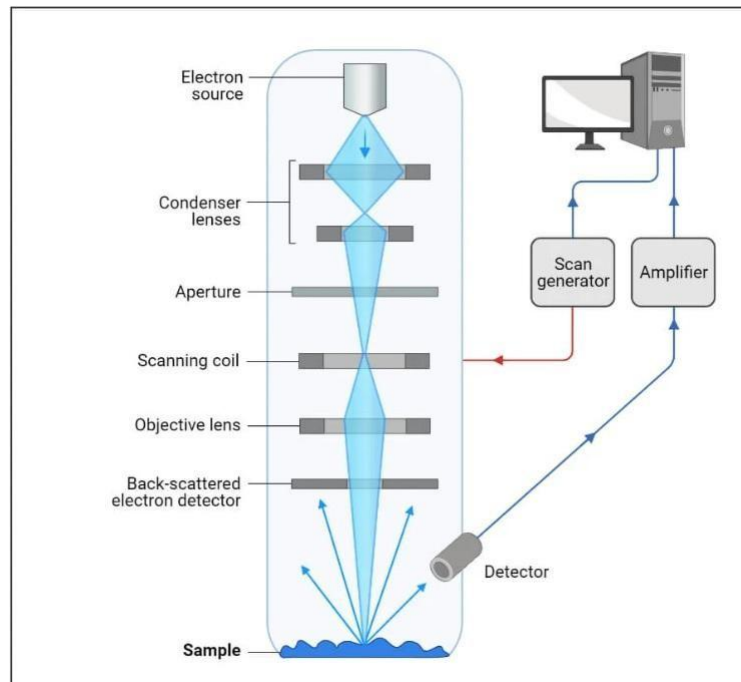


Gambar 2. 3 Fourier Transform Infrared (FTIR).

Sumber : partoshar.com

2.8 Scanning Electron Microscope (SEM)

Mikroskop Elektron Pemindai (SEM) adalah instrumen yang digunakan untuk menghasilkan citra permukaan sampel pada skala mikroskopis dengan resolusi yang sangat tinggi. Prinsip kerjanya didasarkan pada interaksi antara pancaran elektron berenergi tinggi dan permukaan material. Ketika elektron berenergi tinggi mengenai permukaan sampel, terjadi emisi elektron sekunder yang dipantulkan ke berbagai arah. Detektor dalam SEM kemudian mengukur intensitas elektron yang dipantulkan, terutama yang memiliki intensitas tertinggi. Informasi ini digunakan untuk merekonstruksi citra topografi permukaan sampel. Keunggulan utama SEM terletak pada resolusi spasialnya yang jauh lebih tinggi dibandingkan mikroskop optik. Elektron, sebagai partikel dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek daripada cahaya tampak, memungkinkan pencitraan dengan resolusi hingga 0,1-0,2 nm, jauh melampaui batas difraksi cahaya yang sekitar 200 nm (Saputra, 2025). Berikut merupakan **Gambar 2.4** adalah Gambar skema instrumentasi *Scanning Electron Microscope* (SEM).

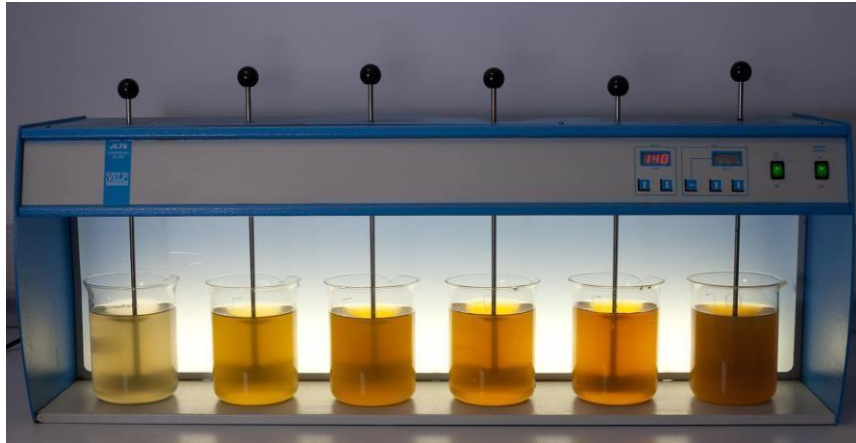


Gambar 2. 4 Scanning Electron Microscope (SEM).

Sumber : microbenotes.com

2.9 Jar Test

Jar test digunakan untuk melakukan koagulasi-flokulasi skala laboratorium. Pada proses koagulasi-flokulasi, jar test digunakan untuk memperkirakan dosis koagulan minimum yang diperlukan untuk mencapai tujuan tertentu. Sampel air yang akan diolah, ditempatkan dalam gelas beker lalu berbagai dosis koagulan ditambahkan ke setiap gelas beker diaduk dan didiamkan untuk mengendapkan flok. Berikut merupakan pengujian Jar Test terlihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 5 Pengujian Jar Test

Sumber : conferences.aquaenviro.co.u

BAB III

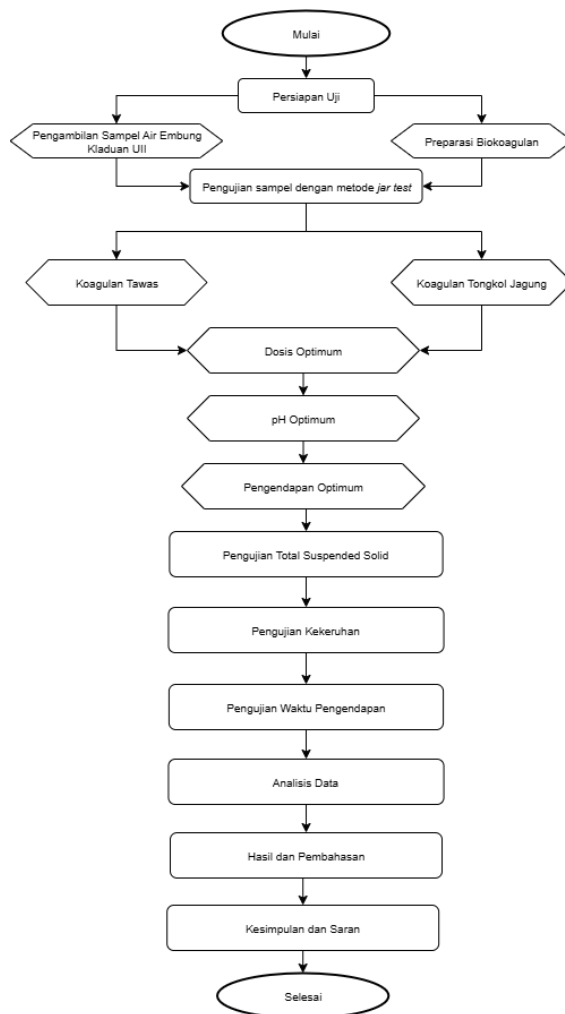
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian koagulan alami dengan pemanfaatan Tongkol jagung untuk menurunkan konsentrasi TSS dan kekeruhan “ Pada **Gambar 3.1.** dibawah ini

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode jar test untuk mengidentifikasi koagulan yang paling efektif dalam mengolah sampel air, dengan mempertimbangkan variabel- variabel yang tertera pada Tabel 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

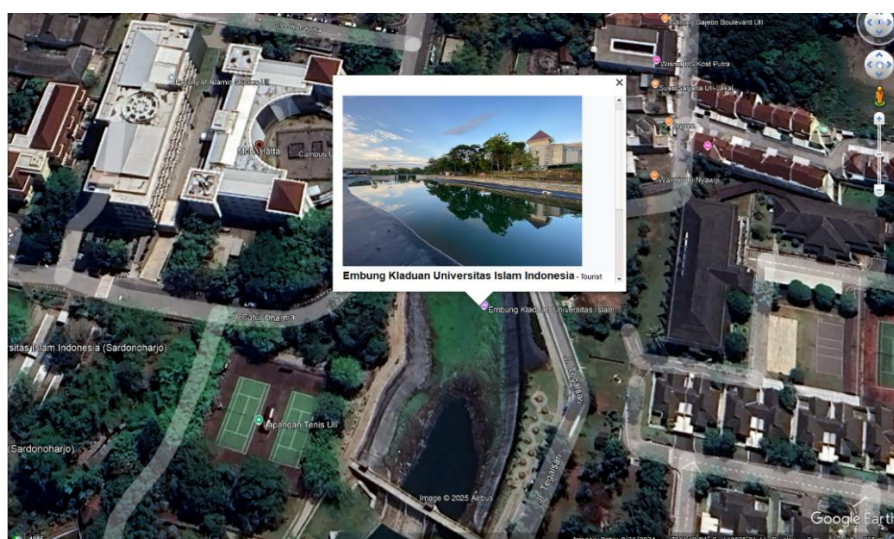
Tabel 3. 1 Variabel Penelitian

Variabel Tetap			Variabel Berubah		
Volume Sampel (ml)	Jenis Koagulan	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Dosis Koagulan (mg/L)	pH Sampel Air	Waktu Pengendapan (menit)
500	<ul style="list-style-type: none"> • Tongkol Jagung • Tawas 	Pengadukan cepat 120 rpm 1 menit	• 75	• 4	• 10
			• 100	• 5	• 15
			• 150	• 6	• 20
			• 200	• 8	• 25
			• 250	• 9	• 30
		Pengadukan lambat 60 rpm 10 menit			

3.3 Waktu dan Lokasi

3.3.1 Sampling air permukaan Embung

Sampel air permukaan diperoleh dari embung kladuan, sebelah timur dari Gedung Moh. Hatta Universitas Islam Indonesia. Berikut gambar lokasi pengambilan sampel air permukaan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Lokasi Sampel air permukaan

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan pengujian biokoagulan :

Tabel 3. 2 Alat Pengujian

No	Nama Alat	Gambar
1	Erlenmeyer Erlenmeyer 250ml, Iwaki	-
2	Cawan Porselein	-
3	Pipet Tetes	-
4	Sendok Kayu	-
5	Batang Kaca Pengaduk	-
6.	Corong Kaca	-
7.	Karet Hisap	-
8.	Pipet Ukur 10 ml Pipet Ukur 10 ml Pyrex Iwaki 0	-
9.	Gelas Ukur 25 ml	-
10.	Gelas ukur 100 ml	-
11.	Gelas Beaker 500 ml	-
12.	Kaca Arloji	-
13	Ayakan 106 Mesh	-
14.	Penjepit Besi	-
15.	Kertas Lakmus Universal	-

16.	Turbidimeter	
17.	Timbangan Analitik AND-GR-202	
18.	Oven Oven Memmert UN 55 PLUS Program Unrvsl Oven	
19.	Jar Test Velp SCIENTIFICA FC65	

20.	Scanning Electron Microscope (SEM)	
21.	Fourier Transform Infra-red (FTIR)	
22.	Water Sampler Water Sampler Horizontal BIT , Type : WSH-BIT-22, CAP 2,2 L	

3.4.2 Bahan

Berikut merupakan bahan yang digunakan dalam pengujian biokoagulan

Tabel 3. 3 Bahan Pengujian

No	Nama Alat	Gambar
1	Kertas Saring Whatman No.42 125mm	-
2	Aquadest	-
3	Larutan HCL	-
4	Larutan NaoH	-
5	Sampel air embung	-
6.	Tongkol Jagung	

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Pengambilan sampel air embung

Pengambilan sampel air embung Kladuan Universitas Islam Indonesia menggunakan alat bantu yaitu Water Sampler dan Jerigen 25 L dari laboratorium Kualitas Air, setelah itu di lakukan analisis berdasarkan Total Suspended Solid (TSS), parameter derajat keasaman (pH) dan kekeruhan untuk mengetahui kondisi awal sebelum dilakukannya proses koagulasi dan flokulasi, pengambilan sampel air embung ini mengacu pada (Zahra, 2021). Berikut merupakan pengambilan sampel air embung.

- 1) Pengambilan Sampel air embung Kladuan, Universitas Islam Indonesia.
- 2) Menggunakan Water Sampler dan Jerigen 25 liter.
- 3) Sampel dianalisis untuk mengetahui kondisi awal parameter *Total Suspended Solid* (TSS), derajat keasaman (pH), dan kekeruhan.

Berikut merupakan **Gambar 3.3**. Pengambilan sampel air embung.



Gambar 3. 3 Pengambilan sampel air embung

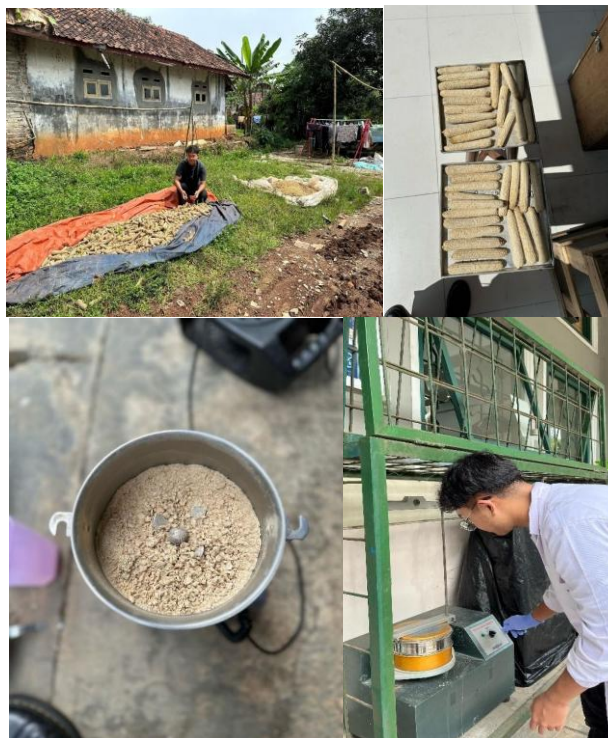
Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

3.5.2 Persiapan koagulan tongkol jagung

Tongkol jagung didapatkan dari Pengusaha Pengolah Jagung di area Cirangkong kecamatan Cibatu kabupaten Purwakarta. Persiapan Koagulan Tongkol mengacu pada (Zahra, 2021). Berikut merupakan persiapan koagulan tongkol jagung.

- 1) Tongkol jagung dibersihkan, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari, dan dilanjutkan dengan pengeringan oven pada suhu 120 °C.
- 2) Tongkol jagung yang sudah kering dihancurkan dan diayak hingga menjadi serbuk halus dengan ukuran 106 mesh.
- 3) Serbuk tongkol jagung yang sudah siap disimpan ke dalam wadah agar kekeringannya tetap terjaga sebelum digunakan.

Berikut **Gambar 3.4** Persiapan tongkol jagung



Gambar 3. 4 Persiapan tongkol jagung

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

3.5.3 Uji Karakteristik Awal

Pada Pengujian karakteristik awal sampel air embung dilakukan untuk mengetahui kandungan awal TSS dan kekeruhan awal dari sampel tersebut yang nanti akan dibandingkan dengan TSS dan kekeruhan setelah diberikan koagulan alami dan sintetis yang mengacu pada SNI 6989.3:2019. berikut merupakan prosedur pengujian TSS (*Total Suspended Solid*) awal dan Uji kekeruhan awal.

a) Pengecekan Kadar TSS Awal

- 1) Siapkan Sampel air embung sebanyak 50 ml yang sudah dihomogenkan.
- 2) Bilas kertas saring dengan aquadest 20 ml.
- 3) Masukkan kertas saring ke dalam oven pada suhu 103-105 °C selama 1 jam.
- 4) Dinginkan kertas saring di dalam desikator selama 10-15 menit.
- 5) Timbang kertas saring pada neraca analitik, lalu ulangi proses hingga mendapatkan (berat kosong yang tetap).

b) Pengujian Sampel

- 1) Bilas kembali kertas saring dengan aquadest, lalu dibilas dengan 50 ml sampel air embung.
- 2) Bilas kertas saring sebanyak 3 kali menggunakan 10 ml aquadest untuk setiap bilasan.
- 3) Oven kembali kertas saring yang sudah terdapat residu pada suhu 103-105°C selama 1 jam.
- 4) Timbang kertas saring dengan neraca analitik dan ulangi proses hingga mendapatkan berat konstan (berat kertas saring dan residu).
- 5) Catat hasilnya.

Berikut **Gambar 3.5** Pengujian kadar TSS awal.



Gambar 3. 5 Pengujian Kadar awal TSS

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

c) Pengujian kekeruhan awal

Pada tahap selanjutnya pengecekan kekeruhan awal, pengecekan kekeruhan dilakukan untuk membandingkan kadar awal dan kadar kekeruhan pada saat pengujian lanjutan menggunakan alat turbidimeter pengecekan kekeruhan awal ini mengacu pada SNI 06-6989.25-2005. Berikut merupakan pengujian kekeruhan awal.

- 1) Memasukan 10 ml sampel air ke dalam vial 10 ml
- 2) Lalu membaca kadar kekeruhan sampel air dengan menekan tombol test/cal.
- 3) Catat hasil kekeruhan yang terbaca oleh alat.

Berikut **Gambar 3.6** Pengujian kekeruhan awal.



Gambar 3. 6 Pengujian kekeruhan awal

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

3.5.3 Uji Koagulasi & Flokulasi

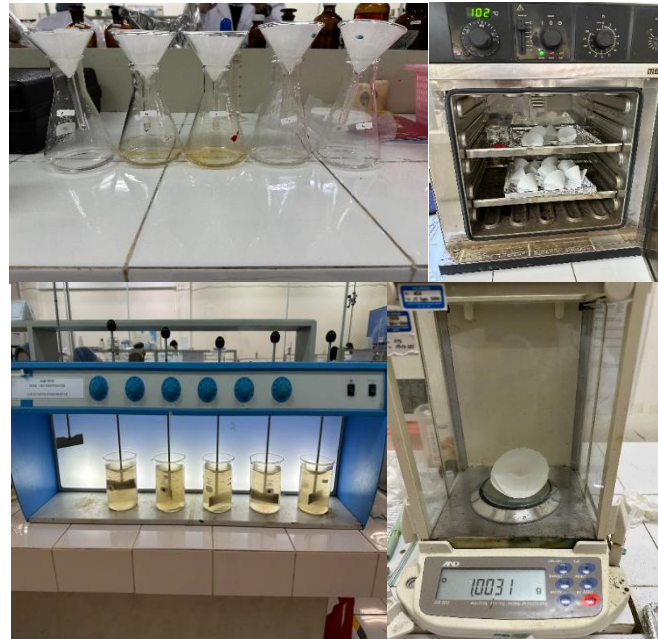
1. Variasi Dosis Koagulan

Pengujian Koagulan serbuk tongkol jagung dan koagulan tawas dengan variasi dosis koagulan pada pH 7 dan waktu pengendapan 30 menit untuk mendapatkan dosis koagulan optimum,. Sampel air embung diambil dan dianalisis untuk menentukan tingkat kekeruhan dan TSS awal sebagai data pembanding. Pengujian ini mengacu pada penelitian sebelumnya (Zahra,2021). Berikut merupakan pengujian variasi dosis koagulan.

- 1) Mengambil sampel air embung 500 ml lalu diberikan variasi dosis koagulan 75, 100, 150, 200, 250 mg/L.
- 2) Membaca nilai pH dengan kertas lakmus dan didapatkan nilai pH 7 pada setiap sampel air.
- 3) Melakukan pengadukan cepat selama 1 menit dengan kecepatan 120 rpm lalu dilanjutkan pengadukan lambat dengan kecepatan 60 rpm selama 30 menit.

- 4) Mengendapkan selama 30 menit agar flok terbentuk lalu mengambil sampel untuk pembacaan TSS (*Total suspended Solid*) dan kekeruhan.

Berikut **Gambar 3.7** Pengujian variasi dosis koagulan.



Gambar 3. 7 Pengujian variasi dosis koagulan

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

2. Variasi pH sampel

Setelah mendapatkan dosis koagulan optimum untuk masing- masing jenis koagulan, kemudian dilakukan pengujian dengan variasi pH sampel air embung dan pada waktu pengendapan 30 menit. Sampel air embung diambil dan diuji dengan metode jar test untuk mensimulasikan proses koagulasi dan flokulasi. Parameter kekeruhan dan Total Suspended Solid (TSS) diukur pada sampel awal sebagai data pembandingan. Pengujian ini mengacu pada penelitian sebelumnya (Zahra,2021). Berikut merupakan pengujian variasi pH sampel.

- 1) Mengambil sampel air dan dianalisis sebagai data awal kekeruhan dan TSS dan dosis koagulan optimum menggunakan yang di pengujian sebelumnya dengan waktu pengendapan 30 menit.
- 2) Mengatur sampel air menjadi 4, 5, 6, 8, dan 9 menggunakan larutan NaOH dan HCl.
- 3) Melakukan pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat 60 rpm selama 1 menit.
- 4) Mengendapkan agar terbentuk flok selama 30 menit lalu mengambil sampel untuk pembacaan TSS (*Total suspended Solid*) dan kekeruhan.

Berikut **Gambar 3.8** Pengujian variasi pH sampel



Gambar 3. 8 Pengujian variasi pH sampel

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

3. Variasi waktu pengendapan

Dosis koagulan optimum dan pH sampel optimum yang telah didapatkan pada pengujian sebelumnya kemudian digunakan pada pengujian variasi waktu pengendapan. Dalam percobaan *jar test*, variasi dosis koagulan

dan pH sampel diuji untuk mengidentifikasi kondisi optimal. Pengujian ini mengacu pada penelitian sebelumnya (Zahra, 2021). Proses koagulasi dan flokulasi distandarisasi dengan tahapan sebagai berikut

- 1) Mengambil sampel air dan dianalisis sebagai data awal kekeruhan dan TSS dan dosis koagulan optimum menggunakan yang di pengujian sebelumnya dan melakukan variasi waktu pengendapan.
- 2) Menggunakan pH sampel air optimum pada pengujian sebelumnya
- 3) Melakukan pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat 60 rpm selama 1 menit.
- 4) Melakukan variasi waktu pengendapan terhadap sampel air yaitu 10, 15, 20, 25, 30 menit.
- 5) Setelah mendapatkan waktu pengendapan optimum mengambil sampel untuk pembacaan TSS (*Total suspended Solid*) dan kekeruhan.

Berikut **Gambar 3.9** Pengujian variasi waktu pengendapan



Gambar 3. 9 pengujian variasi waktu pengendapan

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

3.6 Analisis Data

Sesudah mendapatkan data pengujian *Total Suspended Solid* (TSS) optimum, kekeruhan optimum, dan Waktu pengendapan optimum. Selanjutnya data yang telah di dapatkan diolah di dalam excel untuk melihat penurunan dari setiap variasi yang telah di uji dan melakukan pengolahan data sesuai dengan perhitungan yang digunakan, lalu hasil data yang telah didapatkan di bandingkan dengan regulasi pemerintah yang berlaku mengenai baku mutu air bersih yaitu, Peraturan menteri kesehatan No.2 tahun 2023 dan Peraturan pemerintah No.22 tahun 2021.

3.6.1 Perhitungan konsentrasi TSS (Total Suspended Solid)

Perhitungan untuk mengetahui konsentrasi TSS berdasarkan SNI 6989.3:2019 dilakukan dengan cara:

$$TSS (mg/L) = \frac{(W1 - W0) \times 1000}{Vol sampel (ml)}$$

Keterangan:

W0 : berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg)

W1 : berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering

V : Volume Sampel (ml)

Untuk menghitung efisiensi penyisihan TSS menggunakan perhitungan sebagai berikut (Sethu et al., 2010):

$$\% penyisihan = \frac{C_o - C_a}{C_o}$$

Keterangan:

C_o = konsentrasi awal TSS (mg/L)

C_a = konsentrasi akhir TSS (mg/L)

3.6.2 Perhitungan kekeruhan (Turbidity)

Perhitungan besarnya efisiensi penyisihan kekeruhan menurut (Sethu et al., 2010) : dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{ penyisihan} = \frac{C_o - C_a}{C_o} \times 100 \%$$

Keterangan:

C_o = konsentrasi awal kekeruhan (NTU)

C_a = konsentrasi akhir kekeruhan (NTU)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Air Embung

Sebelum dilakukan evaluasi terhadap efektivitas biokoagulan dan koagulan kimia, karakteristik air embung perlu diidentifikasi terlebih dahulu untuk menentukan kondisi awalnya. Berikut merupakan **Tabel 4.1** karakteristik air embung yang nantinya akan diolah menggunakan biokoagulan dan koagulan kimia.

Tabel 4. 1 Karakteristik Sampel air Embung

Tanggal Sampling	Parameter	Hasil	Satuan	Baku Mutu Air Bersih	
05/05/2025	pH	7	-	pH	6 sampai 9
	Kekeruhan	43,71	NTU	Kekeruhan	< 3 NTU
	TSS Awal	328	mg/L	TSS	50 mg/L

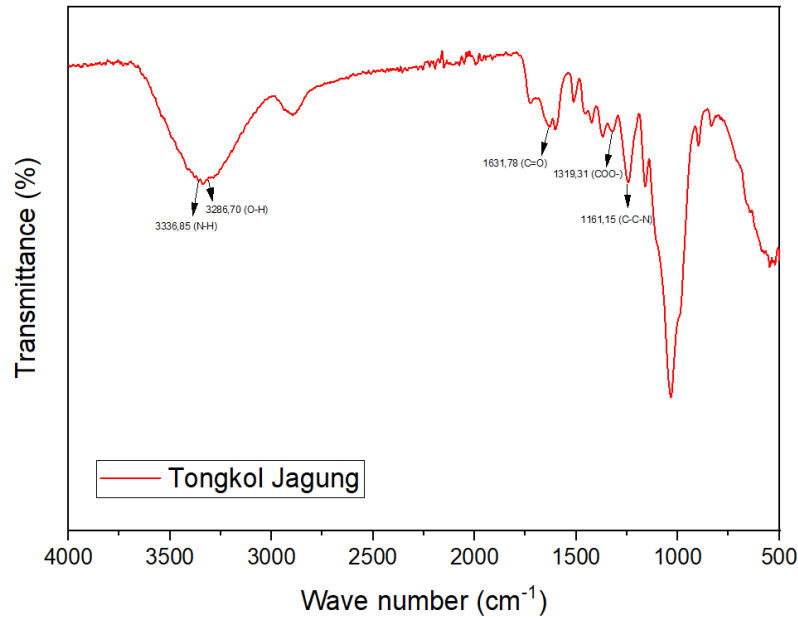
Hal yang perlu diperhatikan dalam karakteristik sampel air embung yaitu Derajat keasaman (pH), Kekeruhan (*Turbidity*), dan nilai *Total Suspended Solid* (TSS). Berdasarkan data yang didapatkan terkait dengan karakteristik air embung di atas jika ingin dimanfaatkan ataupun diolah dalam pengelolaan air bersih harus diolah terlebih dahulu karena bisa berdampak buruk bagi kesehatan manusia, oleh karena itu dilakukannya penambahan biokoagulan tongkol jagung dengan metode koagulasi-flokulasi, parameter tersebut dapat mengalami penurunan dan dapat dimanfaatkan sebagai air bersih yang layak untuk digunakan dalam aktivitas keseharian.

4.2 Karakterisasi Biokoagulan

Karakterisasi Biokoagulan bertujuan untuk mengetahui bentuk ukuran pori, permukaan, unsur kimia, dan gugus fungsi yang terkandung dalam koagulan tongkol jagung dengan menggunakan SEM dan FTIR.

4.2.1 Karakterisasi Biokoagulan FTIR

Menurut (Khasanah , 2025). Gugus fungsi amina (-NH) terdapat pada panjang gelombang 3500-3300 cm^{-1} dan untuk gugus fungsi alkohol (-OH) terdapat pada panjang gelombang 3600-3200 cm^{-1} (Ghodsinia, 2015). Berikut **Gambar 4.1** merupakan hasil analisis FTIR tongkol jagung.



Gambar 4. 1 Hasil analisis FTIR tongkol jagung

Pada Gambar 4.1 ada ikatan O-H pada frekuensi gelombang 3286,70 cm^{-1} , lalu ikatan N-H pada bilangan gelombang 3336,85 cm^{-1} . Ikatan C-C-N pada frekuensi gelombang 1161,15 cm^{-1} , ikatan COO- gugus fungsi karboksilat pada frekuensi 1319,31 cm^{-1} , dan frekuensi 1631,78 menunjukkan adanya C=O gugus fungsi amida 2. Gugus amina tersebut memiliki peluang sebagai protein yang nantinya berfungsi sebagai polielektrolit alami yang memiliki peran yang sama -dengan koagulan kimia.

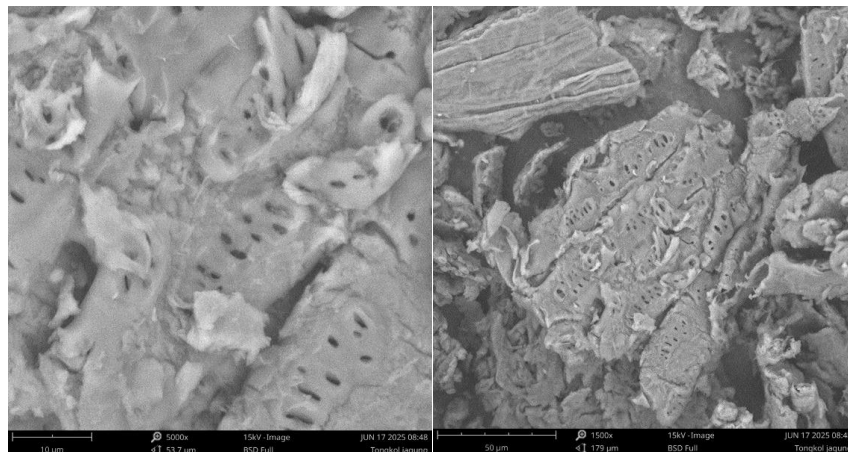
Tongkol jagung memiliki protein yang bermuatan positif ketika dalam keadaan asam, Dalam kondisi pH asam, protein yang memiliki gugus amina (-NH₂) akan berubah menjadi ion amonium terprotonasi (-NH₃⁺), menjadikannya sebagai polielektrolit kationik (polimer bermuatan positif). Pada saat protein berikatan dengan koloid yang memiliki ikatan yang sama akan tolak menolak

namun sebaliknya, ketika memiliki ikatan yang sama akan saling tarik menarik, Prinsip perbedaan muatan antara koloid dan koagulan ini menjadi dasar terjadinya koagulasi.

koagulasi akan berlangsung lebih cepat jika terdapat lebih banyak ion dengan muatan berbeda. Koagulasi terjadi ketika ion positif dari koagulan tongkol jagung berinteraksi dengan ion Sulfat bermuatan negatif dalam air embung. Interaksi ini menetralkan muatan partikel koloid, menyebabkan mereka saling menempel dan membentuk flok yang lebih besar. Pengadukan yang lambat membantu mempercepat proses penggabungan flok ini, sehingga partikel partikel yang lebih berat dapat mengendap ke dasar.

4.2.2 Karakterisasi Biokoagulan SEM

Scanning Electron Microscopy (SEM) menyajikan hasil berupa gambar yang terdiri dari informasi morfologi atau fitur permukaan pada skala yang diperbesar 10 kali hingga 100.000 kali. Karakteristik koagulan tongkol jagung di uji menggunakan metode SEM untuk melihat bentuk morfologi dari koagulan tersebut. Berikut merupakan **Gambar 4.2** hasil uji karakteristik dengan metode SEM.



Gambar 4. 2 hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pada **Gambar 4.2** serbuk tongkol jagung pada perbesaran 1500 x dan 5000 x terlihat bentuk yang teratur dan serat nya kasar dan memiliki ukuran yang bervariasi. Tongkol jagung mengandung selulosa 40%, hemiselulosa 35%,

lignin, protein 5% dan abu sekitar 2%. Pori yang besar memiliki potensi untuk tempat menyerap dan juga menurunkan kadar kekeruhan.

4.3 Pengujian aplikasi koagulan

Pengujian untuk parameter kekeruhan dan TSS ini dilakukan melalui 3 tahap yaitu pertama menentukan dosis utama dari serbuk tongkol jagung, dan tawas pada pH sampel air awal 7, dan waktu pengendapan selama 30 menit, langkah kedua menentukan pH optimum dengan dosis optimum yang sudah didapatkan dengan waktu pengendapan 30 menit, dan tahap terakhir yaitu menentukan waktu pengendapan optimum dengan dosis optimum dan pH optimum yang sudah didapatkan pada pengujian sebelumnya, kedua langkah pengujian ini mengacu pada SNI yang digunakan yaitu berdasarkan SNI 06-6989.25-2005 secara Nefelometri untuk kekeruhan sedangkan untuk TSS berdasarkan SNI 6989.3:2019 secara Gravimetri.

4.3.1 Hasil Data Pengujian Total Suspended Solid (TSS)

1. Dosis Optimum

Penetapan dosis optimum sangat penting dalam keberhasilan proses koagulasi dan flokulasi, oleh karena itu pemberian dosis yang terlalu sedikit mengakibatkan tidak terjadinya pembentukan flok akibat pada saat proses pembentukan flok kekurangan inti flok sehingga partikel koloid semakin banyak, namun, Dosis koagulan yang lebih tinggi menyebabkan penurunan pH yang signifikan karena adanya ion H^+ hasil hidrolisis koagulan. Namun, jika dosis terlalu tinggi, flok yang terbentuk bisa menjadi tidak stabil, mengurangi efektivitas koagulasi (Thariq, 2025).

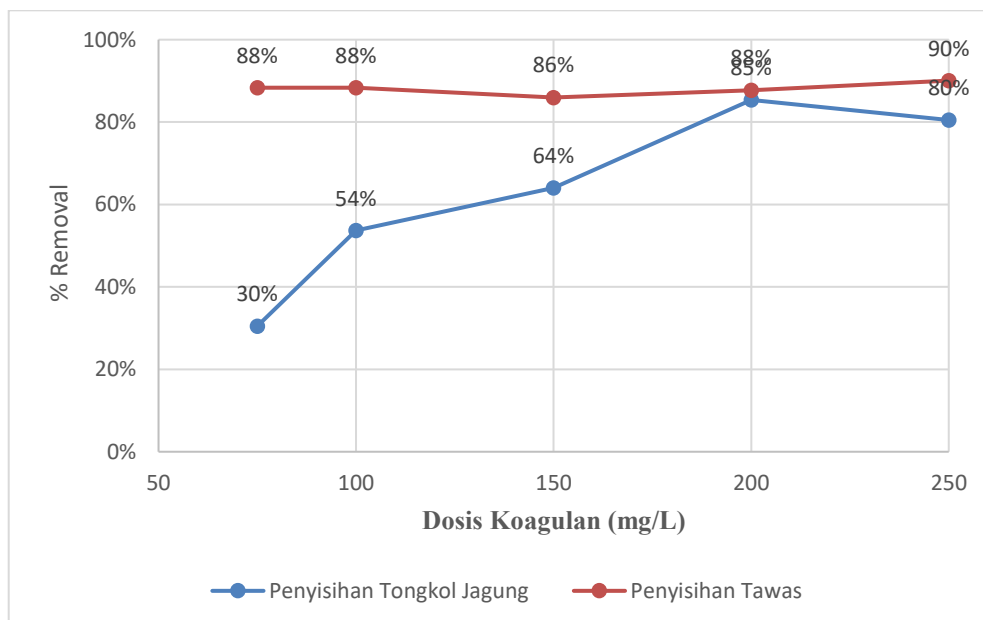
Untuk menentukan dosis optimum dilakukan pengujian metode jar test dengan cara melarutkan koagulan serbuk tongkol jagung dan tawas pada sampel air 500 ml, yang mana sebelumnya sudah diayak dengan ukuran 106 mesh. Sebelum dilakukan pengujian TSS awal / T_0 terlebih dahulu untuk mengetahui persentase penyisihan tiap koagulan.

Berikut merupakan **Tabel 4.2** hasil uji jar test pada koagulan tongkol jagung dan tawas untuk menurunkan kadar TSS .

Tabel 4. 2 Hasil pengujian dosis optimum parameter TSS

Koagulan	Dosis Koagulan (mg/L)	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)
Tongkol Jagung	75	328	228
	100		152
	150		118
	200		54
	250		64
Tawas	75	342	40
	100		40
	150		48
	200		42
	250		34

Pada tabel di atas menunjukkan penyisihan persentase TSS dihitung dengan persamaan yang sesuai dengan SNI 6989.3:2019, dari data di atas disajikan dalam bentuk grafik untuk menentukan dosis optimum penyisihan TSS. Berikut merupakan grafik Hasil Pengujian Dosis Optimum Parameter TSS pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4. 3 Grafik Dosis optimum parameter penyisihan TSS

Kadar TSS awal pada sampel air embung melebihi baku mutu yaitu 50 mg/L sehingga dengan adanya variasi dosis koagulan ini yang bervariasi maka dapat diketahui dosis optimum yang optimal untuk menyisihkan TSS dengan persentase yang tertinggi. Pada grafik di atas terlihat pada dosis 200 mg/L koagulan serbuk tongkol jagung persentasenya paling tinggi yaitu di angka 84% dari konsentrasi awal TSS sebesar 328 mg/L menjadi konsentrasi akhir 48 mg/L. Pada koagulan tongkol jagung ini menunjukkan semakin banyak dosis koagulan menyebabkan penyisihan TSS semakin efektif namun pada dosis 250 mg/L melebihi dosis optimum sehingga dosis 200 mg/L lebih efektif dari 250 mg/L. Restabilisasi partikel koloid merupakan kembalinya muatan partikel koloid yang semula hampir semua partikel koloid yang bermuatan negatif menjadi positif dikarenakan penyerapan dari dosis yang berlebih maka dari itu awalnya partikel koloid saling mengikat membentuk flok kemudian terjadi kembali gaya tolak menolak antar partikel koloid. Terjadinya restabilisasi koloid dikarenakan penambahan dosis koagulan yang berlebih yang menyebabkan muatan ion koloid berlawanan dengan muatan anion koagulan yang diberikan berlebihan, sehingga gaya tarik menarik antara partikel lebih kecil daripada gaya tolak menolak akibat muatan listrik (Setyawan, 2025).

Tetapi pada koagulan tawas, variasi dosis yang lebih tinggi, setelah terjadi restabilisasi partikel koloid kemudian akan mengalami proses *sweep floc*. Peristiwa *sweep floc* dapat membentuk flok yang mudah untuk dipisahkan dengan mengikat ion negatif dari partikel koloid yang terkandung di air. Selain itu, koagulan tawas juga memiliki luas permukaan yang besar yang efektif dalam menghilangkan bahan kimia terlarut tertentu. Sehingga saat sudah terjadi *sweep floc*, koagulan tawas dalam menurunkan kadar TSS dan kekeruhan memiliki performa yang lebih stabil ini terjadi ketika tawas ditambahkan ke dalam air pada dosis yang cukup tinggi dan pH yang optimum umumnya antara 5-7 (Winoto, 2021).

Apabila dosis koagulan yang diberikan tidak memadai, proses pembentukan flok tidak akan berlangsung optimal akibat minimnya inti flok, yang berdampak pada rendahnya efisiensi reduksi partikel koloid. Oleh karena itu, dosis koagulan tongkol jagung dan tawas di bawah 200 mg/L menghasilkan persentase penyisihan

TSS yang rendah. Pemberian dosis koagulan yang optimum sangat krusial dalam menstabilkan partikel tersuspensi dan menginduksi gaya tarik-menarik antarpartikel, yang esensial untuk pembentukan flok. (Zahra, 2021).

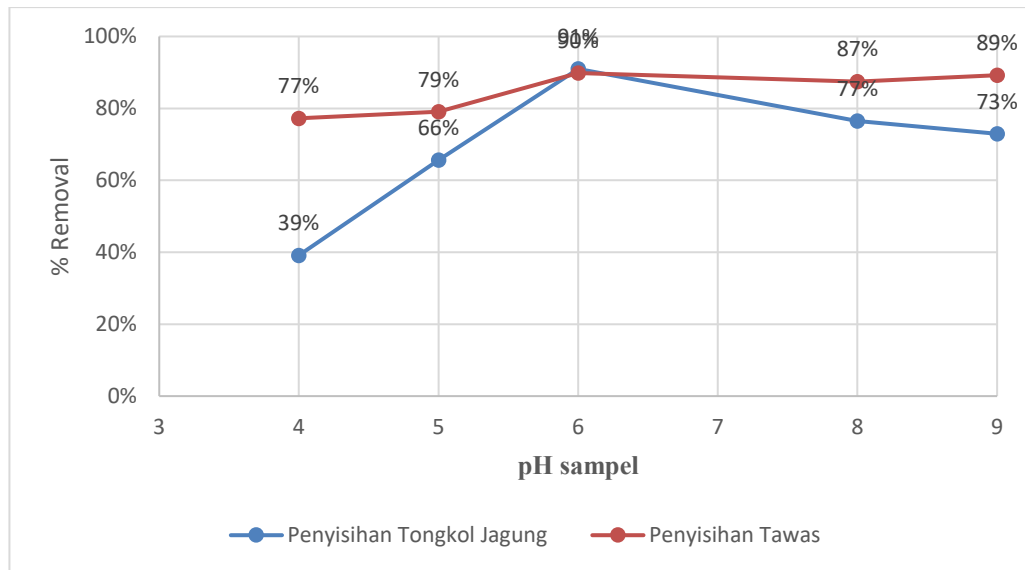
2. pH Optimum

pH merupakan salah satu faktor penting karena pada setiap koagulan mempunyai pH optimum masing-masing oleh karena itu koagulan dapat bekerja secara optimum. Karena pH air tidak hanya mempengaruhi permukaan muatan koagulan, namun dapat berpengaruh pada kestabilan suspensi. Penentuan pada pH optimum diawali dengan membuat variasi pH sampel air 4,5,6,8,9 dengan menambahkan larutan HCl untuk membuat larutan dalam keadaan asam dan menambahkan larutan NaOH agar menjadikan sampel dalam keadaan basa. Lalu setelah itu dosis koagulan optimum yang sebelumnya sudah didapatkan pada pengujian sebelumnya ditambahkan pada masing-masing pH sampel air dan dilakukan jar test dengan pengadukan cepat 120 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat 60 rpm selama 10 menit. Dan waktu pengendapan flok 30 menit, berikut merupakan hasil dari pengujian jar test untuk mencari pH optimum pada koagulan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian pH Optimum TSS

Koagulan	Dosis Koagulan (mg/L)	pH sampel air	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)
Tongkol Jagung	200	4	332	202
		5		114
		6		30
		8		78
		9		90
Tawas	250	4	334	76
		5		70
		6		34
		8		42
		9		36

Pada tabel di atas dilakukan perhitungan dengan persamaan yang sesuai dengan SNI 6989.3:2019, maka didapatkan grafik persentase penyisihan TSS dengan nilai pH pada sampel air pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4. 4 Grafik pH optimum parameter penyisihan TSS

Pada Gambar di atas dapat diketahui setiap koagulan mempunyai pH optimumnya sehingga koagulan dapat bekerja secara optimum. Koagulan tongkol jagung, persentase penyisihan terbesar pada pH 6 dengan persentase penyisihan di angka 91% dari konsentrasi awal TSS sebesar 332 mg/L menjadi 34 mg/L. Lalu pada koagulan tawas memiliki pH optimum yang sama yaitu 6 dengan persentase penyisihan di angka 90% dan penurunan konsentrasi TSS yang awalnya 334 menjadi 34 mg/L. Pada kedua koagulan tersebut memiliki persentase yang hampir sama dan rentang pH yang sama yaitu 6. Dalam konteks penggunaan tongkol jagung sebagai koagulan alami, pH 6 juga merupakan titik di mana senyawa-senyawa aktif dalam ekstrak tongkol jagung dapat berfungsi secara optimal. Senyawa-senyawa ini, seperti polisakarida dan protein, dapat berinteraksi dengan partikel-partikel dalam air, membantu dalam proses pengendapan dan penyisihan TSS. Penelitian menunjukkan bahwa pada pH 6, baik tawas maupun ekstrak tongkol jagung dapat mencapai efisiensi penyisihan yang tinggi, seperti yang terlihat dari penurunan konsentrasi TSS dari 334 mg/L menjadi 34 mg/L dengan persentase penyisihan mencapai 90%.

Koagulan tawas pada pH 6 memiliki persentase penyisihan yang cukup optimum. Hal ini disebabkan karena, koagulan tawas dapat bekerja secara efektif pada rentang pH 6-8, karena Pada pH dibawah 6 jumlah muatan positif H^+ menjadi

lebih banyak, oleh karena itu muatan negatif yang berasal dari partikel tersuspensi tidak bereaksi pada muatan positif dari ($R - NH_3^+$) melainkan bereaksi dengan muatan positif H^+ yang menyebabkan tidak terbentuknya flok (Saputra, 2015).

3. Waktu Pengendapan Optimum

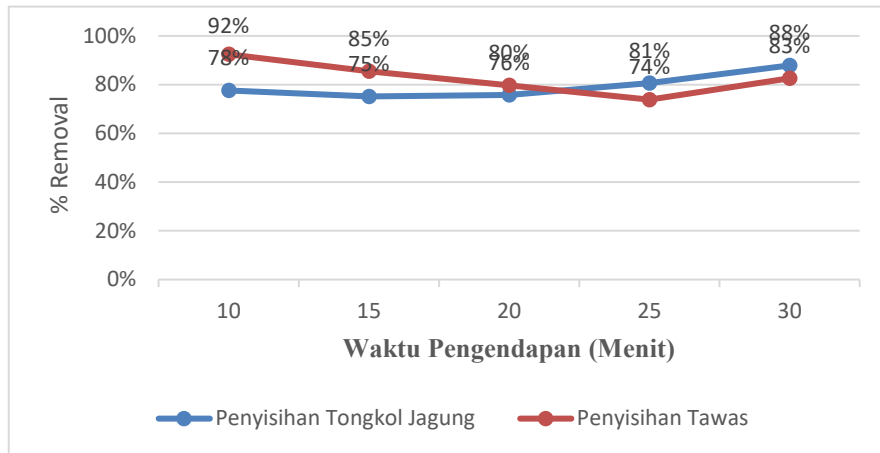
Selanjutnya Pembentukan flok terjadi setelah tahapan koagulasi dan flokulasi selesai, lalu flok diendapkan beberapa menit untuk memisahkan material padatan yang ada di dalam air melalui proses sedimentasi. ada proses sedimentasi, partikel tersuspensi dipisahkan dari air menggunakan gaya gravitasi. Pemisahan ini efektif karena densitas partikel lebih besar daripada air. Waktu pengendapan memiliki dampak signifikan terhadap efektivitas proses sedimentasi. Jika waktu pengendapan terlalu singkat, flok yang sudah terbentuk tidak akan terpisah sempurna dari air. Akibatnya, saat kadar TSS (*Total Suspended Solids*) diukur, masih banyak partikel tersuspensi yang ikut terhitung.

Berikut merupakan **Tabel 4.4** hasil pengujian waktu pengendapan optimum penyisihan TSS.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Waktu Pengendapan Optimum TSS

Koagulan	Dosis Koagulan (mg/L)	pH sampel air	Waktu Pengendapan (menit)	TSS Awal (mg/L)	TSS Akhir (mg/L)
Tongkol Jagung	200	6	10	330	74
			15		82
			20		80
			25		64
			30		40
Tawas	250	6	10	344	26
			15		50
			20		70
			25		90
			30		60

Pada tabel di atas dilakukan perhitungan dengan persamaan yang sesuai dengan SNI 6989.3:2019, maka didapatkan grafik persentase penyisihan TSS dengan waktu pengendapan optimum pada sampel air pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4. 5 Grafik pengendapan optimum penyisihan TSS

Pada grafik **Gambar 4.4**, menunjukkan Waktu pengendapan optimum koagulan serbuk tongkol jagung dan Tawas pada waktu 30 menit dan 10 menit yang dimana persentase penyisihan TSS sebesar 87% dan 92% yang dari konsentrasi awal TSS sebesar 330 mg/L, 344 mg/L menjadi 40 mg/L, 26 mg/L. Namun pada tawas, pada umumnya seharusnya semakin lama waktu pengendapan maka persentase penyisihan juga semakin besar. Penyimpangan ini mungkin disebabkan karena pada waktu tersebut tidak semua koagulan terkoagulasi dan terflokulasi dengan sempurna.

Menurut (Rusdi, 2014). Penurunan efisiensi penyisihan Total Suspended Solids (TSS) yang teramati setelah 15 menit mengindikasikan bahwa durasi tersebut merupakan waktu pengendapan optimum untuk koagulan tawas. Melebihi waktu optimum ini, diduga terjadi fenomena restabilisasi, dimana partikel tersuspensi yang telah dinetralkan kehilangan kemampuannya untuk beraglomerasi dan membentuk endapan.

4.3.2 Hasil Data Pengujian Kekeruhan

1. Dosis Optimum

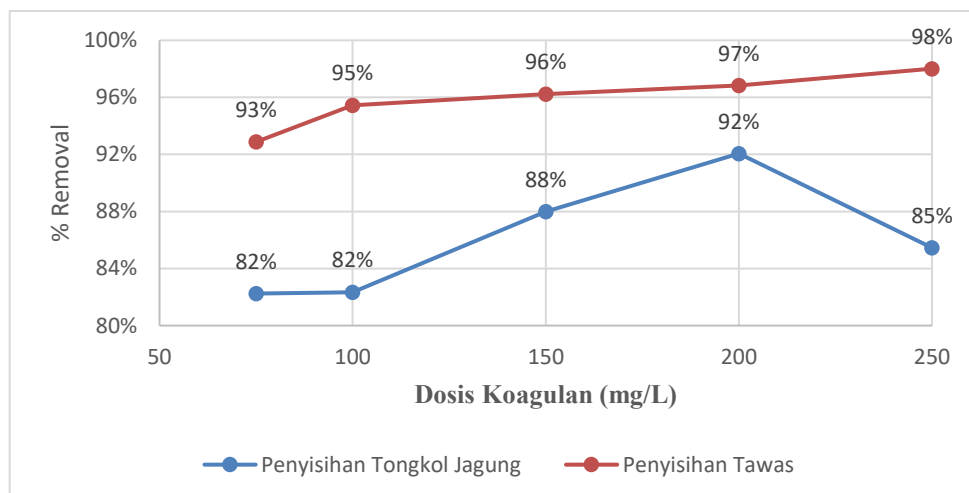
Pengujian dosis optimum pada parameter kekeruhan, tahapan pengujian sama dengan namun menambahkan alat mengukur kekeruhan yaitu turbidimeter. Sebelum sampel air yang diambil di embung UII Kladuan ditambahkan koagulan, mengukur terlebih dahulu kekeruhan awal supaya dapat diketahui dan dijadikan

sebagai perbandingan. Berikut merupakan **Tabel 4.5** hasil dari pengujian dosis optimum koagulan dalam penyisihan kekeruhan.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Dosis Optimum kekeruhan

Koagulan	Dosis Koagulan (mg/L)	Kekeruhan Awal (NTU)	kekeruhan Akhir (NTU)
Tongkol Jagung	75	43,71	7,76
	100		7,72
	150		5,25
	200		3,47
	250		6,36
Tawas	75	47,31	3,37
	100		2,16
	150		1,78
	200		1,5
	250		0,94

Pada tabel di atas dilakukan perhitungan dengan persamaan yang sesuai dengan persamaan poin 3.6.2 , maka didapatkan grafik persentase penyisihan kekeruhan dengan Dosis Koagulan optimum pada sampel air pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4. 6 Grafik dosis optimum parameter kekeruhan

Pada grafik diatas, kekeruhan awal sampel air embung Kladuan UII dapat di turunkan oleh koagulan tongkol jagung dan tawas. Dosis optimum koagulan di Dosis optimum koagulan ditetapkan berdasarkan persentase penyisihan kekeruhan yang paling tinggi. Dosis optimum koagulan ditetapkan berdasarkan persentase penyisihan kekeruhan yang paling tinggi. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, Dosis optimum koagulan tongkol jagung adalah 200 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 92%, pada koagulan tongkol jagung, dosis 75% hanya bisa menyisihkan 82% kekeruhan, pada dosis 100 mg/l dan 150 mg/l kemampuan menyisihkan nya sebesar 82% dan 88%, lalu pada dosis 200 mg/L kemampuan penyisihan tongkol jagung meningkat menjadi 92% dan pada dosis 250 mg/L menjadi 85% mengalami penurunan . dan dosis 200 mg/L yang mampu menyisihkan kekeruhan yang awalnya 43,71 NTU menjadi 3,47 NTU. Sedangkan koagulan tawas pada dosis 75 mg/L mampu menyisihkan 93% kekeruhan , dosis 100 mampu menyisihkan 95%, dosis 150 menyisihkan 96%, dosis 200 menyisihkan 97% dan pada dosis 250 mampu menyisihkan 98% kekeruhan.

Tetapi pada koagulan tongkol jagung dosis 250 mg/l mengalami penurunan sebesar 7% yang di sebabkan karena terlalu banyak dosis koagulan yang ditambahkan sehingga konsentrasi kekeruhan semakin tinggi. Peningkatan konsentrasi kekeruhan dapat disebabkan oleh penambahan koagulan yang melampaui dosis optimum. Kondisi ini dapat menyebabkan penyerapan muatan positif berlebih dari koagulan oleh partikel tersuspensi. Akibatnya, partikel-partikel tersebut akan bermuatan positif, memicu gaya tolak-menolak antar partikel. ini menghambat pembentukan flok yang stabil, sehingga menyebabkan peningkatan kekeruhan larutan (Hendrawati, 2015).

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (Permenkes Nomor 2 Tahun 2023). Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air, Udara, Tanah, Pangan, Sarana dan Bangunan, Vektor dan Binatang Pembawa Penyakit ,baku mutu maksimum kekeruhan yang diizinkan untuk air minum adalah 3 NTU. Dalam konteks ini, hasil pengujian menunjukkan bahwa hanya koagulan tawas yang efektif menurunkan kekeruhan hingga memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan. Sebaliknya, koagulan tongkol

jagung belum menunjukkan kemampuan yang memadai dalam menyisihkan kekeruhan hingga mencapai batas konsentrasi maksimum yang dipersyaratkan.

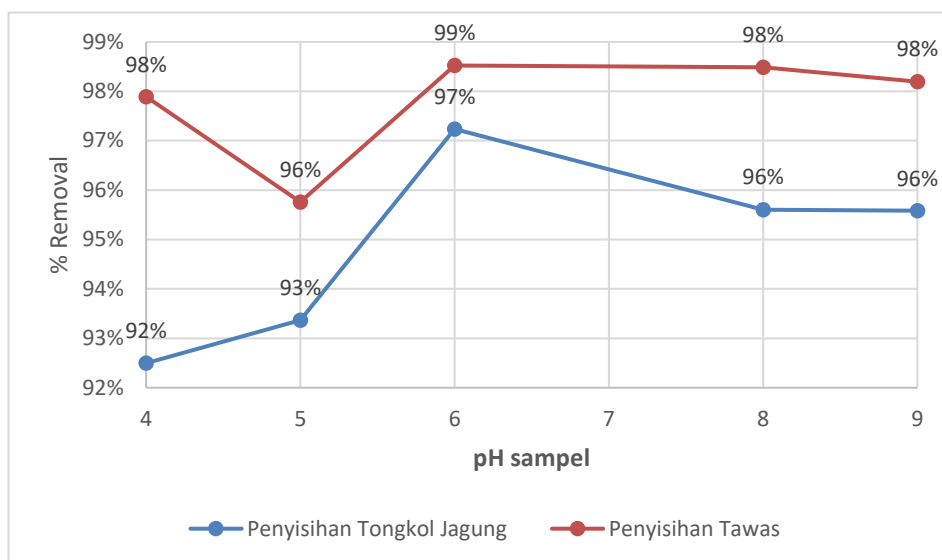
2. pH Sampel Optimum

pH larutan berperan penting dalam proses penyisihan kekeruhan, sebab koagulan alami umumnya bekerja optimal pada kondisi pH yang cenderung asam. Untuk menentukan pH optimum, melakukan variasi pengujian pada sampel air dengan rentang pH 4, 5, 6, 8, dan 9. Untuk mengatur pH sampel air, digunakan penambahan HCl agar mencapai kondisi asam, dan NaOH untuk kondisi basa.. Berikut merupakan **Tabel 4.6** hasil pengujian untuk menentukan pH optimum.

Tabel 4. 6 Data Hasil pH Optimum Parameter kekeruhan

Koagulan	Dosis Koagulan (mg/L)	pH sampel Air	kekeruhan Awal (NTU)	kekeruhan Akhir (NTU)
Tongkol Jagung	200	4	49,58	3,72
		5		3,29
		6		1,37
		8		2,18
		9		2,19
Tawas	250	4	52,12	1,10
		5		2,21
		6		0,77
		8		0,79
		9		0,94

Pada tabel di atas dilakukan perhitungan dengan persamaan yang sesuai dengan persamaan point 3.6.1 , maka didapatkan grafik persentase penyisihan kekeruhan dengan Dosis pH optimum pada sampel air pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4. 7 Grafik pH optimum penyisihan kekeruhan

Koagulan tongkol jagung mampu menyisihkan 92% kekeruhan saat diaplikasikan pada pH 4. Pada pH 5 kemampuan penyisihan sebesar 93%, Pada pH 6, kemampuan penyisihan kekeruhan meningkat signifikan sebesar 4%, mencapai 97% setelah penambahan koagulan tongkol jagung. Setelah proses tersebut, konsentrasi kekeruhan yang terukur adalah 1,37 NTU. Untuk koagulan tawas, pH optimumnya adalah 6. Pada pH ini, persentase penyisihan kekeruhan mencapai 99%, sehingga konsentrasi kekeruhan akhir menjadi hanya 0,77 NTU. Kenaikan pada koagulan tawas terjadi pada pH 6 dengan kenaikan persentase penyisihan sebesar 99%.

Dengan dosis optimum 200 mg/L dan pH optimum yaitu 6, Koagulan tongkol jagung dapat menurunkan konsentrasi kekeruhan yang awalnya 49,58 NTU menjadi 1,37 NTU dengan persentase penyisihan sebesar 97%. Koagulan tawas dosis optimum 250 mg/L dan pH optimum 6 menyisihkan sebesar 99% kekeruhan. Jika dibandingkan dengan peraturan Permenkes No.2 tahun 2023, tentang kesehatan lingkungan dan batas kekeruhan di 3 NTU, Hasil penyisihan kekeruhan menggunakan koagulan tongkol jagung dan koagulan tawas telah menunjukkan bahwa keduanya memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Menurut (Prasetyo, 2015). Peningkatan konsentrasi ion hidroksida (OH^-) dalam suatu larutan air akan menyebabkan pergeseran nilai pH ke arah kondisi basa, dan sesuai dengan baku

mutu yang digunakan yaitu Permenkes No.2 tahun 2023 batas nilai pH yang diperbolehkan untuk air bersih yaitu 6,5 sampai 8,5.

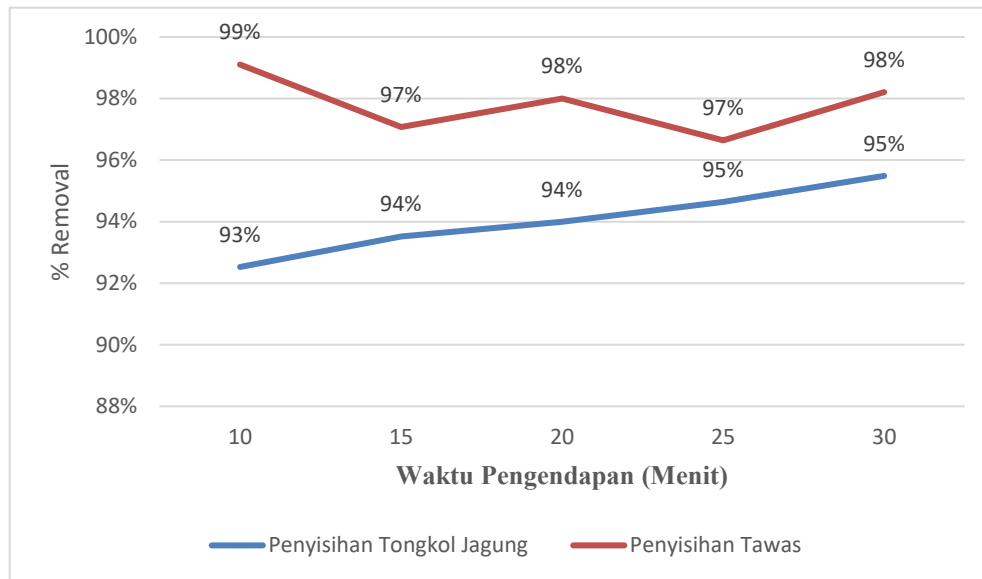
3. Waktu Pengendapan Optimum

Setelah pengujian sebelumnya didapatkan dosis optimum koagulan tongkol jagung dan tawas yaitu 200 dan 250 mg/L, dan pH optimum yang sama yaitu 6, selanjutnya menentukan variasi waktu pengendapan optimum yaitu selama 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit sehingga didapatkan hasil pengujian. Berikut merupakan **Tabel 4.7** hasil pengujian waktu pengendapan optimum parameter kekeruhan.

Tabel 4. 7 Pengujian Waktu Pengendapan Optimum Kekeruhan

Koagulan	Dosis Koagulan (mg/L)	pH sampel Air	Waktu Pengendapan (Menit)	kekeruhan Awal (NTU)	kekeruhan Akhir (NTU)
Tongkol Jagung	200	6	10	48,31	3,61
			15		3,13
			20		2,90
			25		2,59
			30		2,18
Tawas	250	6	10	53,61	0,48
			15		1,57
			20		1,07
			25		1,80
			30		0,96

Pada tabel di atas dilakukan perhitungan dengan persamaan yang sesuai dengan persamaan point 3.6.1 , maka didapatkan grafik persentase penyisihan kekeruhan dengan waktu pengendapan optimum pada sampel air pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4. 8 Grafik pengendapan optimum penyisihan kekeruhan

Waktu pengendapan flok optimum untuk koagulan tongkol jagung adalah 30 menit dengan persentase penyisihan 95%. Sementara itu, koagulan tawas mencapai waktu pengendapan optimum lebih cepat, yaitu 10 menit, dengan persentase penyisihan yang sedikit lebih tinggi, yaitu 99%, pada koagulan tongkol jagung yang awalnya konsentrasi kekeruhan awalnya 48,31 NTU menjadi 2,18 NTU. Efisiensi penyisihan kekeruhan menggunakan koagulan dari tongkol jagung menunjukkan korelasi positif dengan waktu pengendapan, sebagaimana konsisten dengan teori yang dikemukakan oleh (Mohammed, 2018). Fenomena ini disebabkan oleh perilaku agregasi dan pengendapan partikel tersuspensi; selama pergerakannya dalam larutan, partikel-partikel tersebut terus berkumpul membentuk entitas yang lebih besar dan padat, yang kemudian mengendap secara efektif di bawah pengaruh gravitasi.

Sedangkan untuk koagulan tawas, pada menit 10 awal persentase kekeruhan menunjukkan penyisihan tertinggi yaitu sebesar 99% dengan konsentrasi penyisihan 0,48 NTU kemudian pada menit selanjutnya 15,20,25,30 mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan, artinya pengendapan sudah terjadi secara sempurna pada menit awal namun mengalami penurunan di menit selanjutnya, Penurunan persentase penyisihan kekeruhan ini terjadi karena waktu pengendapan optimum koagulan tawas telah terlewati. Hal ini mengakibatkan partikel-partikel

tersuspensi gagal beraglomerasi secara efektif, sehingga proses sedimentasinya terhambat.

4.4 Hubungan Penyisihan TSS dan Kekeruhan

TSS (*Total Suspended Solid*) dan kekeruhan (*Turbidity*) berhubungan erat karena kekeruhan air disebabkan oleh adanya partikel-partikel tersuspensi. Partikel tersuspensi yang melayang dalam air bervariasi, meliputi bahan anorganik seperti pasir halus, liat, dan lumpur alami, serta bahan organik seperti lemak, minyak, dan protein. Partikel tersuspensi tidak hanya berupa bahan anorganik dan organik, tetapi juga mikroorganisme seperti bakteri dan alga. Sumber partikel-partikel ini, baik anorganik, organik, maupun mikroorganisme, dapat berasal dari berbagai aktivitas, termasuk industri pertambangan, industri pertanian, dan kegiatan domestik manusia sehari-hari. Meskipun TSS dan kekeruhan berhubungan erat, nilai keduanya tidak selalu sebanding. Menurut (Arafah, 2015). Padatan tersuspensi dan kekeruhan memiliki korelasi positif yaitu semakin tinggi nilai padatan tersuspensi maka semakin tinggi pula nilai kekeruhan. Akan tetapi, tingginya padatan terlarut tidak selalu diikuti dengan tingginya kekeruhan.

Telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh (Ainurrofiq, 2017). Dosis optimal kitosan dari cangkang keong sawah untuk mengurangi TSS (*Total Suspended Solids*) ternyata berbeda dengan dosis optimal yang diperlukan untuk mengurangi kekeruhan. Pada penelitian tersebut Penyisihan TSS (*Total Suspended Solids*) memerlukan dosis koagulan kitosan sebesar 300 mg/L, lebih tinggi daripada dosis 200 mg/L yang optimal untuk menyisihkan kekeruhan. Perbedaan ini terjadi karena pengukuran TSS tidak hanya dipengaruhi oleh partikel tersuspensi, tetapi juga oleh zat terlarut seperti zat pewarna. Oleh karena itu, dosis kitosan yang lebih besar dibutuhkan untuk menyisihkan TSS karena jumlah partikel tersuspensi, seperti zat organik dan lumpur halus, lebih banyak dibandingkan dengan zat terlarut yang mempengaruhi kekeruhan. dalam penelitian ini, dosis, pH, dan waktu pengendapan optimum yang sama ditemukan untuk mencapai persentase penyisihan TSS dan kekeruhan terbesar dengan ketiga jenis koagulan. Untuk TSS, koagulan kitosan (200 mg/L, pH 5) mencapai 80%, serbuk cangkang kerang darah (75 mg/L, pH 4) mencapai 76%, dan tawas (200 mg/L) mencapai 95%. Sementara

itu, untuk kekeruhan pada kondisi optimum yang serupa, kitosan berhasil menyisihkan 81%, serbuk cangkang kerang darah 76%, dan tawas 97%. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi TSS berbanding lurus dengan penurunan konsentrasi kekeruhan.

4.5 Perbandingan Hasil Biokoagulan dan Koagulan

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan efektivitas koagulan tongkol jagung (alami) dengan koagulan tawas (sintetis) dalam menghilangkan TSS dan kekeruhan dari sampel air. Perbandingan ini dilakukan dengan menguji berbagai dosis koagulan. Tujuan pengujian adalah menemukan kondisi optimum (meliputi pH sampel air dan waktu pengendapan flok) untuk setiap koagulan, sehingga didapatkan persentase penyisihan TSS dan kekeruhan yang paling tinggi. Berikut merupakan **Tabel 4.8** masing-masing kondisi optimum koagulan.

Tabel 4. 8 Kondisi Ideal Koagulan

Jenis Koagulan	Parameter	Baku Mutu
Tongkol Jagung	Kekeruhan: 2,18 (NTU) (95%) TSS: = 40 Mg/L (87%)	TSS: PP No. 22/2021 50 mg/L ,(Air Kelas 2)
Dosis Optimum : 200 mg/L		
pH Optimum : 6		
Waktu Pengendapan : 30 menit		
Tawas	Kekeruhan: 0,48 (NTU) (99%) TSS: = 26 Mg/L (92%)	Kekeruhan : Permenkes No.2 tahun 2023 , 3 NTU
Dosis Optimum : 250 mg/L		
pH Optimum : 6		
Waktu Pengendapan : 10 menit		

Pada **Tabel 4.8** merupakan hasil dari pengujian koagulan tongkol jagung dan tawas, dapat diketahui bahwa koagulan tongkol jagung pada dosis 200 mg/L pada pH 6 dan waktu pengendapan 30 menit dengan ukuran ayakan 106 mesh, dimana yang di awal nilai TSS berada di angka 330 mg/L menjadi 40 mg/L yang di mana persentase penyisihan sebesar 87% dan penurunan nilai kekeruhan yang awalnya ada di angka 48,31 NTU menjadi 2,18 NTU dengan persentase penyisihan sebesar 95,49%. Sedangkan pada koagulan tawas pada dosis 250 mg/L, pH 6, dan

waktu pengendapan 10 menit dengan ayakan berukuran 106 mesh dimana awalnya konsentrasi TSS di angka 344 mg/L menurun menjadi 26 mg/L yang dimana persentase penyisihan nya ada di angka 92% sedangkan untuk parameter kekeruhan yang awalnya ada di angka 53,61 mengalami penurunan menjadi 0,48 NTU dengan selisih penurunan sebesar 53,13 mg/L dan persentase penurunan sebesar 99%. Pada koagulan tongkol jagung persentase penyisihan nilai TSS dan kekeruhan masih di bawah persentase penyisihan koagulan tawas. Namun keduanya sudah memenuhi persyaratan baku mutu pada masing- masing parameter

Secara keseluruhan hasil dapat diambil kesimpulan bahwa biokoagulan Tongkol jagung mempunyai potensi yang menunjukkan potensi signifikan sebagai biokoagulan untuk aplikasi pengolahan air bersih. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Zahra, 2021). Penggunaan biokoagulan yaitu kitosan dan cangkang kerang darah (*Andara Granosa*) pada pengolahan air sumur PAM Universitas Islam Indonesia dengan variasi dosis 75, 100, 150, 200, dan 250 mg/L dengan ukuran ayakan 100 mesh di dapatkan penurunan nilai TSS sebesar 48 mg/L dengan persentase penurunan 76% dan nilai kekeruhan 5,72 NTU dengan persentase penurunan sebesar 76% dan kondisi pH optimum 4, jika dibandingkan dengan tongkol jagung dapat menurunkan nilai TSS sebesar 40 mg/L dengan persentase penurunan 87% dan nilai kekeruhan ada di angka yang lebih unggul yaitu 2,18 NTU dengan persentase penurunan sebesar 95% dan kondisi ada di pH optimum 6. Dapat disimpulkan bahwa biokoagulan tongkol jagung ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk koagulan kimia yang biasanya digunakan untuk penjernih air bersih.

Meskipun performanya belum melampaui tawas, koagulan tongkol jagung sangat menjanjikan sebagai biokoagulan untuk pengolahan air. Keunggulannya terletak pada sifatnya sebagai sumber daya terbarukan yang berasal dari limbah pertanian. Koagulan ini ramah lingkungan, dapat diterima secara ekologis, tidak beracun, biokompatibel, dan biodegradable. Menariknya, bahkan tanpa penambahan zat lain dan dengan dosis yang relatif kecil, koagulan tongkol jagung mampu mencapai persentase penyisihan TSS dan kekeruhan yang signifikan, bahkan di bawah baku mutu lingkungan. Oleh karena itu, koagulan ini layak dipertimbangkan sebagai alternatif dalam pengolahan air.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Biokoagulan yang berasal dari serbuk tongkol jagung menunjukkan kinerja yang efektif dan efisien dalam proses pengolahan air bersih. Berdasarkan data hasil analisis yang diperoleh dari sampel air embung UII Kladuan, setelah melalui perlakuan dengan dosis dan ukuran partikel koagulan yang telah dioptimalkan, Parameter TSS koagulan tongkol jagung dapat mereduksi kadar TSS pada dosis Optimum 200 mg/L, pH optimum 6 dan waktu pengendapan 30 menit yang di awal konsentrasi TSS sebesar 328 mg/L menjadi 40 mg/L. Namun untuk parameter kekeruhan, koagulan tongkol jagung Namun parameter kekeruhan, koagulan tongkol jagung memiliki kondisi dosis dan pH optimum yang sama dengan parameter TSS, koagulan ini mampu mereduksi nilai kekeruhan secara signifikan, yaitu dari konsentrasi awal 43,71 NTU menjadi 2,18 NTU. Dan untuk perbandingan koagulan tawas memiliki dosis 250 mg/L, pada pH 6 dan waktu pengendapan yang lebih singkat yaitu 10 menit dan mampu menurunkan kadar TSS 344 mg/L menjadi 26 mg/L dan kekeruhan yang awalnya 53,61 NTU menjadi 0,48 NTU.
2. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas air menggunakan koagulan dari tongkol jagung telah memenuhi kriteria baku mutu air bersih. Hal ini sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 dan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. efektif dalam mendestabilisasi partikel koloid, utamanya melalui komponen proteinnya pada Dosis, pH dan waktu pengendapan optimum . koagulan ini terbukti mampu mereduksi kekeruhan dan Padatan Tersuspensi Total (TSS) secara signifikan, sehingga kualitas air olahan memenuhi kriteria baku mutu air bersih. Pemanfaatan limbah pertanian ini sebagai biokoagulan juga menawarkan solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam pengolahan air.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, Perlu dilakukan perbandingan koagulan tongkol jagung dengan biokoagulan lainnya agar dapat mengetahui potensi maksimum dari koagulan tongkol jagung tersebut
2. Untuk penelitian selanjutnya, Koagulan tongkol jagung menggunakan sampel air bersih yang memiliki kandungan pencemar yang tinggi agar dapat mengetahui apakah koagulan ini mampu menyisihkan parameter uji atau harus dilakukan kombinasi dengan biokoagulan lainnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya, bisa saja menambahkan parameter Selain kekeruhan, TSS, pH dan waktu pengendapan, ukur parameter kualitas air lain seperti *Total Organic Carbon* (TOC), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), warna, , konduktivitas, dan kandungan mikroorganisme.
4. Diperlukan evaluasi dan peningkatan dalam melakukan pengujian koagulan di laboratorium agar data yang diolah dan didapatkan nanti lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrasiansi, A., M., & Pramukanto, Q. (2023). Perencanaan Lanskap untuk Pelestarian Budaya Kasepuhan Sinar Resmi Kabupaten Sukabumi Berbasis Bioregion. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 15(1), 42–51.
- Azis, A., Yusuf, H., Faisal, Z., & Suradi, M. (2015). *Water turbidity impact on discharge decrease of groundwater recharge in recharge reservoir. Procedia Engineering*, 125, 199–206.
- Anggraini, I. F., Kusniawati, E., & Mayangsari, M. (2023). Pemanfaatan tongkol jagung pada pembuatan karbon aktif dengan menggunakan aktivator (Na_2CO_3) serta pengaruhnya terhadap sampel air sumur gali menggunakan parameter ph, turbidity, total suspended solid (TSS) & total dissolved solid (TDS). *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(5), 2261-2272.
- Dewi, S. E., Eddiwan, & Efawani. (2018). Morfometrik dan Pola Pertumbuhan Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Perairan Bagan Siapi-Api Kabupaten Rokan Hilir. *Berkala Perikanan Terubuk Vol 46 No 3*, 38-40.
- Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2024). Pengolahan air limbah dengan metode koagulasi flokulasi pada industri kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7781-7787.
- Efendi, R., Suwardi, S., Syafruddin, S., & Zubachtirodin, Z. (2015). Penentuan takaran pupuk nitrogen pada tanaman jagung hibrida berdasarkan klorofil meter dan bagan warna daun. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 31(1), 139048.
- Faturachman, G. F., Ramanda, A. A., Maharani, S., Latif, L. A., Belo, G. A. G., & Al Ayubi, S. G. (2025). *Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for Quantitative Analysis of Pharmaceutical Compounds. Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 5(1).

- Ghodsinia, S., & Akhlaghinia, B. (2015). A Rapid Metal Free Synthesis of 5- substituted-1H-tetrazoles using Cuttlebone as a Natural High Effective and Low Cost Heterogeneous Catalyst. *Royal Society of Chemistry Advances*. 5(62), 849–860.
- Gunawan, S., Hasan, H., & Lubis, R. D. W. (2020). Pemanfaatan adsorben dari tongkol jagung sebagai karbon aktif untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 38-47.
- Hermansyah, M., H., Putri, Y., P., Setiawan, A., A., Eddy, S., Jumingin, & Saputra, W., (2024). Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS) pada Sampel Air Limbah Sawit Secara Gravimetri. *Jurnal Ilmu Lingkungan Vol No. 2*, 28- 31.
- Hendrawati, H., Sumarni, S., & Nurhasni, N. (2016). Penggunaan kitosan sebagai koagulan alami dalam perbaikan Kualitas air danau. *Jurnal Kimia VALENSI*, 1(1), 1-11.
- Khasanah, N., & Muslihin, A. M. (2025). Perbandingan Metode Ekstraksi Terhadap Kadar Total Flavonoid Dan Alkaloid Daun Batik Papua (*Graptophyllum pictum* L. griff). *Jurnal Etnofarmasi*, 3(01), 10-25.
- Lisha, S. Y., Syahyuda, N. M., & Erdelia, G. P., (2024). Pemanfaatan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben dalam Penurunan COD dan TDS Air Limbah Tambak Udang. *Jurnal Sains dan Teknologi Vol. No 24*, 144-152.
- Mohammed, T. J., & Shakir, E. (2018). Effect of settling time, velocity gradient, and camp number on turbidity removal for oilfield produced water. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(1), 31-36.
- Octavianca, H. & Purnomo, A. (2023). Perbandingan Kemampuan *Poly Aluminum Chloride* (PAC) dan Biokoagulan dari Tepung Jagung Pada Instalasi Pengolahan Air Bersih di PT. Semen Indonesia. *Jurnal Teknik ITS Vol. 12, No. 2*, 117-120.

- Prihatinningtyas, E., & Effendi, A.J. (2013). Aplikasi Koagulan Alami Dari Tepung Jagung Dalam Pengolahan Air Bersih. *Jurnal Tekno Sains Volume 2 No.2*, 71-158.
- Permenkes, (2023) Peraturan Menteri kesehatan Republik Indonesia nomor 2 tahun 2023, Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL).
- Peraturan Pemerintah, (2021) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 tahun 2021, Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *Lampiran VI*,
- Prasetyo, A., Nur, M., Muhlisin, Z., & Putro, S. P. (2015). Pengaruh Ozon yang Dibangkitkan Menggunakan Reaktor Dielectric Barrier Discharge Plasma (DBDP) Terhadap Konsentrasi Oksigen Terlarut, Kesadahan, dan Ph Pada Air Murni. *Youngster Physics Journal*, 4(3), 273-242.
- Qasim, S., Motley, E., & Zhu, G. (2000). Water Works Engineering. Dallas: Chiang, Patel and Yerby, Inc. *Book Of Planning, Design, and Operation*, 1-80.
- Risdianto, D. (2007). Optimisasi Proses Koagulasi Flokulasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT Sido Muncul), 25-125.
- Rusdi, R., Sidi, T. P., & Pratama, R. (2014). Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Pengendapan Biji Kelor terhadap pH, Kekeruhan dan Warna Air Waduk Krenceng. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(1).
- Rizqullah, T. A., Budiono, A., & Yulianto, E. (2025). Penentuan Dosis Optimal Koagulan Dan Flokulan Dengan Mengontrol Ph Pada Unit *Waste Water Treatmen Plant Pt Paiton Operation & Maintenance Indonesia*. Distilat: Jurnal Teknologi Separasi, 11(1), 201-207.
- Risdayanti, Arninda, A., & Yusuf, A. (2024). Pengaruh Variasi Koagulan Kulit Jeruk untuk Menurunkan *Total Suspended Solid* (TSS) pada Limbah Air Tahu. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 3(2), 92-96.

- Rohim, A., Azhari, M., & Putro, D. S. (2024). Pemanfaatan Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai Koagulan Alami untuk Pengolahan Air Gambut. In *Journal of Life Science and Technology Agustus (Vol. 2024, Issue 2)*, 47-52.
- Risnawati, J.,(2024). Pemanfaatan Ekstrak Biji Alpukat (*Persea Americana* Mill) Sebagai Biokoagulan pada Pengolahan Air Limbah Industri Tahu, 1- 45.
- SNI-BSN. (2000). SNI 19-6449-2000 : Uji Koagulasi Flokulasi – Bagian 4 : Prosedur Cara pengujian Koagulasi & Flokulasi. Badan Standarisasi Nasional, 1-11.
- SNI- BSN. (2019). SNI 6989.3:2019 : Uji Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solids*) Secara Gravimetri. Badan Standarisasi Nasional, 1-16.
- SNI-BSN. (2005). SNI 06-6989.25-2005: Air dan air limbah - Bagian 25: Cara Uji Kekeruhan dengan Nefelometer. Badan Standardisasi Nasional, 1–10.
- SNI-BSN. (2019a). SNI 6989.11:2019: Air dan air limbah – Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan pH meter. Badan Standardisasi Nasional, 1–13.
- Sjahfirdi, L., Aldi, N., Maheshwari, H., & Astuti, P. (2015). Aplikasi Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Pengamatan Pembengkakan Genital pada Spesies Primata, Lutung Jawa (*Trachypithecus Auratus*) untuk Mendeteksi Masa Subur. *Jurnal Kedokteran Hewan-Indonesian Journal of Veterinary Sciences*, 9(2).
- Saputra, T. H., Ariawan, R., Laksana, N. A. S., Jati, U. S., & Wijaya, D. K. (2025). Analisis Hasil Uji Tarik dan Scanning Electron Microscope (SEM) pada Obyek Cetak 3D dari Filamen Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET). *Infotekmesin*, 16 (1), 263- 268.
- Saputra, A., Putra, S., & Kundari, N. (2015). Pengaruh pH Limbah dan Perbandingan Kitosan dengan TSS pada Pengendapan Limbah Cair Biskuit. 1(1), 1-8.

- Setyawan, T., Lolo, E., & Sudaryantiningsih, C. (2025). Efektivitas Variasi Dosis Koagulan PAC Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Untuk Penurunan Parameter BOD Dan TSS (Studi Kasus: Industri Tahu Dele Emas, Kampung Krajan, Kelurahan Mojosongo, Kota Surakarta). *Jurnal Solo Teknologi*, 1-7.
- Susanto,R. (2008). Optimasi Koagulasi – Flokulasi dan Analisis Kualitas Air pada Industri Semen, 10-56.
- Siswoyo, E., Zahra, R. N., Mai, N. H. A., Nurmiyanto, A., Umemura, K., & Boving, T. (2023). Chitosan of blood cockle shell (*Anadara granosa*) as a natural coagulant for removal of total suspended solids (TSS) and turbidity of well-water. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(3), 283-289.
- Winoto, E., & Aprilyanti, S. (2021). Perbandingan Penggunaan Tawas dan PAC Terhadap Kekeruhan dan pH Air Baku PDAM Tirta Musi Palembang. *Jurnal Redoks*, 6(2), 107-116.
- Yohannes, B., Utamo, S. W., & Agustina, H. (2019). Kajian Kualitas Air Sungai dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air (Studi di Sungai Krukut, Jakarta Selatan). *IJEEM: Indonesian Journal of Environmental Education and Management*, Vol. 4 No.2, 137- 146.
- Zahra, N.(2021). Pemanfaatan Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) sebagai Koagulan Alami dalam Menurunkan Kadar TSS dan Kekeruhan., 7-18

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Dosis Koagulan

A. Perhitungan Dosis Koagulan 75,100,150,200,250 mg/L

$$500 \text{ ml} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 0,5 \text{ liter}$$

$$75 \text{ mg} = 0,075 \text{ gram}$$

$$\text{massa (gram)} = 0,075 \text{ gram/l} \times 0,5 \text{ l} = 0,0375 \text{ gram}$$

B. Perhitungan konsentrasi TSS

$$\text{TSS (mg/l)} = \frac{(1,0064 - 1,0044) \times 1000}{50 \text{ (ml)}} = 40 \text{ mg/l}$$

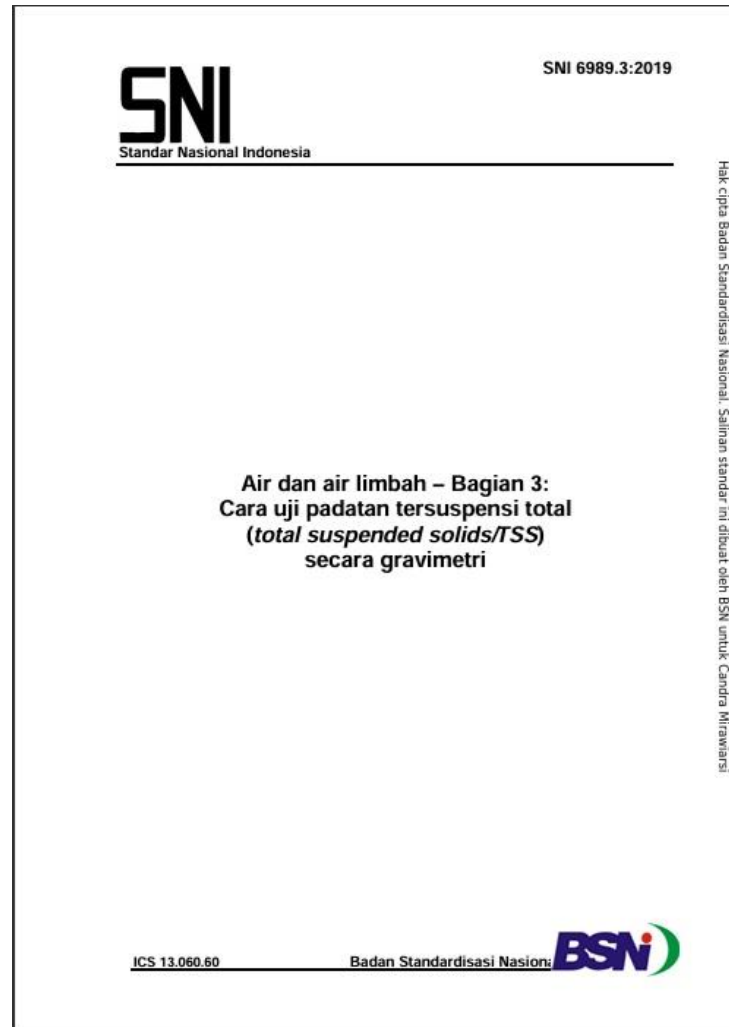
C. Perhitungan efisiensi penyisihan TSS

$$\% \text{ penyisihan} = \frac{330 - 40}{330} = 87,88 \%$$

D. Perhitungan efisiensi penyisihan kekeruhan

$$\% \text{ penyisihan} = \frac{48,31 - 2,18}{48,31} \times 100 \% = 95,49 \%$$

Lampiran 2 SNI Pengujian TSS (SNI 6989.3:2019)



SNI 6989.3:2019

4.2 Bahan

- a) media penyaring *microglass-fiber filter* dengan ukuran porositas 0,7 µm sampai dengan 1,5 µm;
- b) air bebas mineral.

4.3 Peralatan

- a) desikator yang berisi desikan;
- b) oven, untuk pengoperasian pada kisaran suhu 103 °C sampai dengan 105 °C;
- c) timbangan analitik dengan keterbacaan 0,1 mg;
- d) pipet volumetrik atau gelas ukur;
- e) media penimbang (misalnya kaca arloji atau cawan petri);
- f) cawan kaca masir atau cawan *Gooch* atau sistem penyaring vakum;
- g) pinset; dan
- h) sistem vakum.

4.4 Pengurangan gangguan

Pisahkan partikel besar yang mengapung.

CATATAN 1 Residu yang berlebihan dalam saringan dapat mengering membentuk kerak dan menjebak air, untuk itu batasi contoh uji agar tidak menghasilkan residu lebih dari 200 mg.

CATATAN 2 Contoh uji yang mengandung padatan terlarut tinggi, bilas dengan air bebas mineral sehingga residu terlarut yang menempel pada kertas saring benar-benar larut.

CATATAN 3 Hindari melakukan penyaringan yang terlalu lama untuk mencegah penyumbatan oleh zat koloidal yang terperangkap pada saringan.

CATATAN 4 Untuk contoh uji yang mengandung minyak atau cairan organik lihat Lampiran B.

4.5 Persiapan media penyaring atau cawan *Gooch*

- a) Letakkan media penyaring pada peralatan filtrasi. Pasang sistem vakum, hidupkan pompa vakum kemudian bilas media penyaring dengan air bebas mineral 20 ml. Lanjutkan penghisapan hingga tiris, matikan pompa vakum.
- b) Pindahkan media penyaring dari peralatan filtrasi ke media penimbang. Jika digunakan cawan *Gooch* dapat langsung dikeringkan.
- c) Keringkan media penimbang atau cawan *Gooch* yang berisi media penyaring dalam oven pada suhu 103 °C sampai dengan 105 °C selama 1 jam.

CATATAN Selama pengerjaan pengeringan, oven tidak boleh dibuka tutup.

- d) Dinginkan media penimbang atau cawan *Gooch* dalam desikator kemudian timbang.
- e) Ulangi langkah pada butir c) dan d) sampai diperoleh berat tetap (catat sebagai W_0).

4.6 Prosedur

- a) Lakukan penyaringan dengan peralatan penyaring. Basahi media penyaring dengan sedikit air bebas mineral.
- b) Aduk contoh uji hingga diperoleh contoh uji yang homogen, kemudian ambil contoh uji secara kuantitatif dengan volume tertentu dan masukkan ke dalam media penyaring. Nyalakan sistem vakum.

CATATAN 1 jika proses penyaringan membutuhkan waktu lebih dari 10 menit, maka kurangi volume contoh uji.

CATATAN 2 volume contoh uji yang diambil harus menghasilkan berat residu kering antara 2,5 mg sampai 200 mg.

- c) Bilas media penyaring 3 kali dengan masing-masing 10 ml air bebas mineral, lanjutkan penyaringan dengan sistem vakum hingga tiris.

CATATAN contoh uji dengan padatan terlarut yang tinggi memerlukan pencucian tambahan.

- d) Pindahkan media penyaring (*glass-fiber filter*) secara hati-hati dari peralatan penyaring ke media penimbang (cawan petri). Jika menggunakan cawan Gooch, pindahkan cawan dari rangkaian alatnya.

CATATAN gunakan penjepit (pinset) untuk memindahkan media penyaring dari peralatan penyaring

- e) Keringkan media penimbang atau cawan Gooch yang berisi media penyaring dalam oven minimal selama 1 jam pada kisaran suhu 103 °C sampai dengan 105 °C, dinginkan dalam desikator, dan timbang.

CATATAN selama pengerjaan pengeringan, oven tidak boleh dibuka tutup.

- f) Ulangi langkah e) sampai diperoleh berat tetap (catat sebagai W_1).
- g) Hitung TSS sesuai 3.7 dan laporkan hasil pengujian sesuai Lampiran A.

4.7 Perhitungan

Hitung TSS sesuai rumus berikut.

$$\text{TSS (mg/l)} = \frac{(W_1 - W_0) \times 1000}{V}$$

Keterangan:

W_0 adalah berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg);
 W_1 adalah berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg);
 V adalah volume contoh uji, (ml);
 1000 adalah konversi mililiter ke liter.

5 Pengendalian mutu

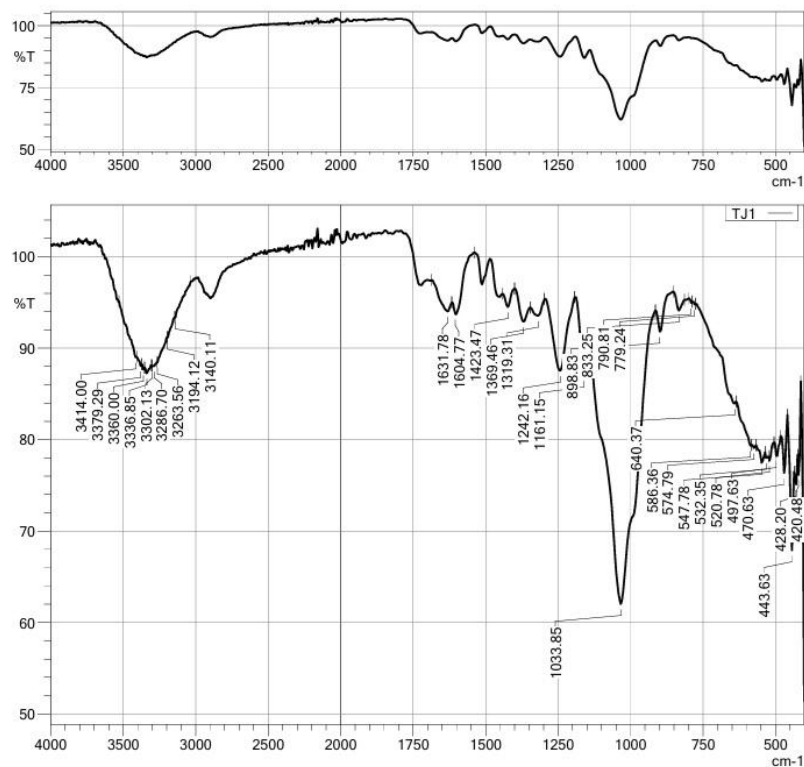
- a) Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
 b) Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
 c) Dikerjakan oleh analis yang kompeten.
 d) Lakukan analisis dalam jangka waktu tidak melebihi 7 hari.
 e) Lakukan analisis blanko untuk kontrol kontaminasi.
 f) Lakukan analisis duplo sebagai kontrol ketelitian analisis. Jika Perbedaan Persen Relatif (*Relative Percent Different* atau RPD) $\geq 15\%$ maka dilakukan pengukuran ketiga hingga diperoleh nilai RPD $\leq 15\%$.

Lampiran 3 SNI Koagulasi Flokulasi (SNI 19-6449-2000)



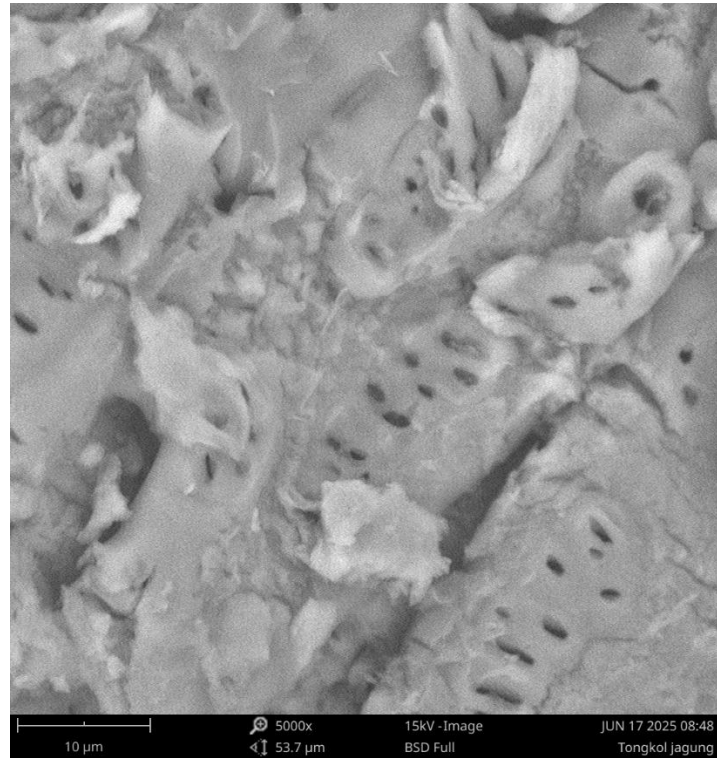
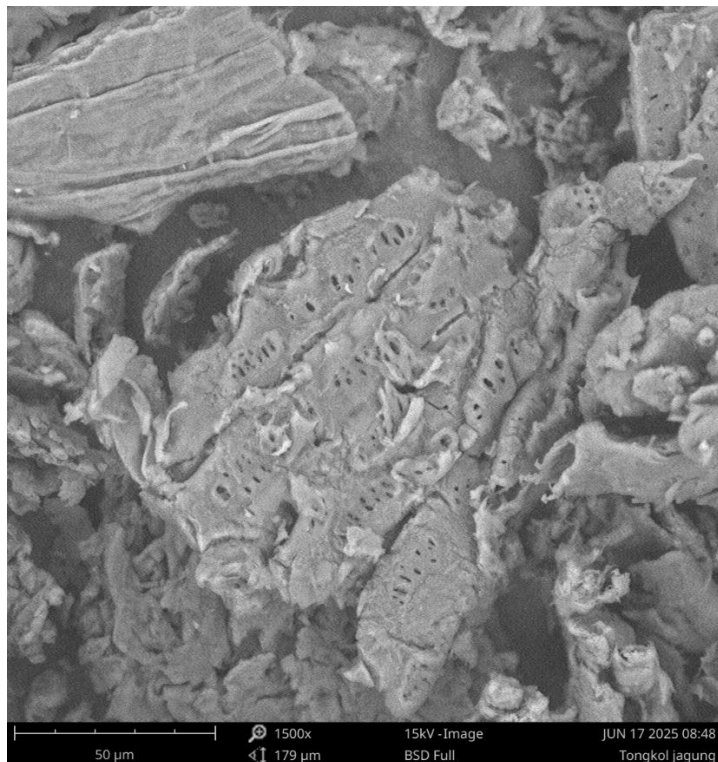
- 10.3. Operasikan pengaduk multi posisi pada pengadukan cepat dengan kecepatan kira-kira 120 Rpm. Tambahkan larutan atau suspensi pada setiap penentuan dosis yang telah ditentukan sebelumnya. Pengadukan kira-kira selama 1 menit setelah penambahan bahan kimia. Catat waktu dan kecepatan pencampuran (Rpm).
- 10.4. Kurangi kecepatan sampai pada kecepatan minimal, untuk menjaga keseragaman partikel flok yang terlarut melalui pengadukan lambat selama 20 menit. Catat waktu pembentukan flok yang pertama kali setiap 5 menit selama pengadukan lambat. Catat ukuran flok relatif dan kecepatan pencampuran (Rpm). Bila koagulan pembantu dipakai, kecepatan pencampuran dalam kondisi kritis karena kecenderungan akan memecah pada pembentukan awal flok, penambahan koagulan pembantu akan gagal.
- 10.5. Setelah pengadukan lambat selesai, angkat baling-baling dan lihat pengendapan partikel flok. Catat waktu yang dibutuhkan untuk pengendapan gumpalan partikel. Pencatatan dimulai pada saat air dalam keadaan diam.
- 10.6. Setelah 15 menit pengendapan, catat bentuk flok pada dasar gelas dan catat temperatur contoh uji. Dengan menggunakan pipet atau siphon, keluarkan sejumlah cairan supernatan yang sesuai sebagai contoh uji untuk penentuan warna, kekeruhan, pH dan analisis lainnya.

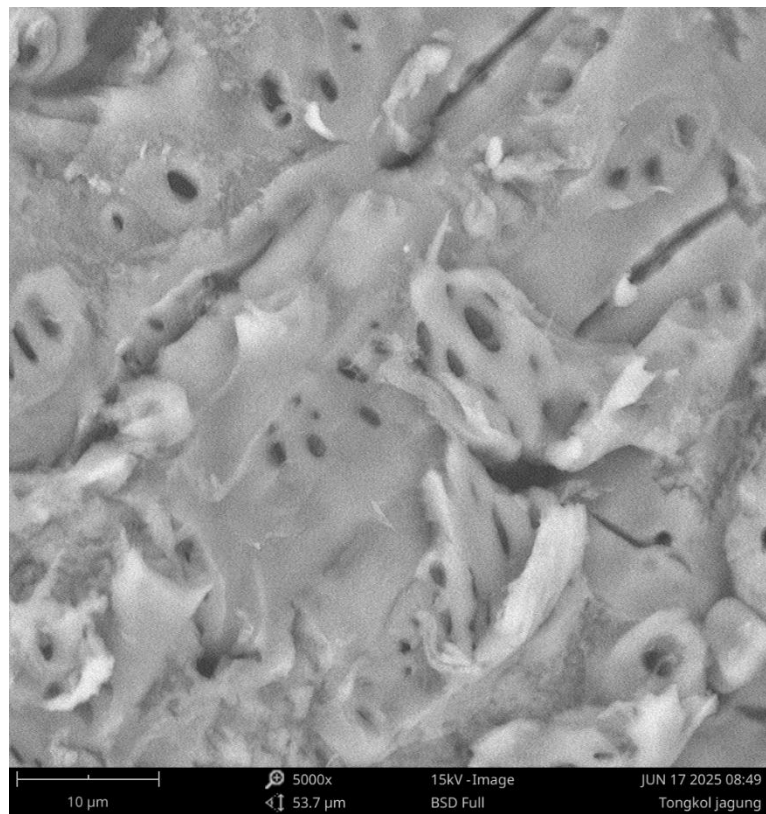
Lampiran 4 Hasil Uji FTIR



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	420.48	76.14	4.84	424.34	412.77	245.088	40.496	
2	428.20	75.11	2.59	435.91	424.34	277.980	16.299	
3	443.63	67.90	10.65	459.06	435.91	583.887	111.292	
4	470.63	76.36	5.19	482.20	459.06	484.049	56.899	
5	497.63	78.21	1.73	505.35	482.20	482.657	20.993	
6	520.78	77.72	0.75	524.64	505.35	410.389	3.989	
7	532.35	78.03	0.43	536.21	524.64	252.693	2.469	
8	547.78	77.47	1.43	567.07	536.21	666.351	18.238	
9	574.79	79.09	0.32	582.50	567.07	320.008	2.309	
10	586.36	79.33	0.44	636.51	582.50	997.894	15.037	
11	640.37	83.96	0.51	775.38	636.51	1432.451	-23.530	
12	779.24	94.79	0.15	786.96	775.38	58.473	0.364	
13	790.81	94.95	0.27	798.53	786.96	55.734	1.127	
14	833.25	94.12	1.63	852.54	813.96	193.605	29.777	
15	898.83	91.81	2.84	914.26	852.54	343.493	45.070	
16	1033.85	62.02	30.07	1141.86	914.26	5064.520	3286.722	
17	1161.15	87.02	5.28	1192.01	1141.86	471.032	116.006	
18	1242.16	87.54	7.97	1296.16	1192.01	868.131	399.604	
19	1319.31	93.56	1.40	1346.31	1296.16	294.694	40.421	
20	1369.46	92.90	2.44	1400.32	1346.31	308.057	64.311	
21	1423.47	94.51	1.69	1442.75	1400.32	190.650	30.483	
22	1604.77	93.73	2.10	1616.35	1539.20	213.524	38.876	
23	1631.78	94.04	1.51	1685.79	1616.35	322.786	61.871	
24	3140.11	93.37	0.15	3143.97	3032.10	506.180	-13.125	
25	3194.12	91.15	0.21	3197.98	3143.97	416.532	0.539	
26	3263.56	88.45	0.20	3267.41	3197.98	710.967	6.570	
27	3286.70	88.03	0.23	3298.28	3267.41	364.485	3.436	
28	3302.13	87.96	0.15	3309.85	3298.28	138.308	0.794	
29	3336.85	87.25	0.71	3352.28	3309.85	525.115	16.025	
30	3360.00	87.67	0.36	3371.57	3352.28	233.587	3.396	
31	3379.29	88.07	0.36	3406.29	3371.57	398.177	4.191	
32	3414.00	89.00	0.43	3529.73	3406.29	1009.864	33.777	

Lampiran 5 Hasil Uji SEM





Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian















RIWAYAT HIDUP



Penulis Arkan Fawwaz Hidayat, lahir pada tanggal 20 September 2002 di Desa Benteng, Kecamatan Campaka, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat. Merupakan anak kedua dari Bapak Sarif Hidayat, S.Ag. dan Ibu bernama Ayu dyah Kristanti. Memulai pendidikan di Sekolah Dasar Islam Al-Ghozali (2011-2015), Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Purwakarta (2015-2018), lalu Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Purwakarta (2018-2021), dan melanjutkan studinya pada jenjang S1 di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia (2021-2025).

Selama kuliah menjadi mahasiswa, penulis mengikuti beberapa kegiatan kemahasiswaan sebagai anggota divisi dekorasi dan dokumentasi pada kegiatan jurusan Lintas Lingkungan Universitas Islam Indonesia.